LUT-YLIOPISTO
LUT School of Energy Systems
LUT Kone

Miika Pyhäjärvi

TERÄSRAKENTEIDEN LAATUVAATIMUKSET STANDARDIN EN 1090 MUKAAN

30.5.2020
Tarkastajat: Professori Timo Björk
DI Kai Seppälä

TIIVISTELMÄ

LUT-Yliopisto
LUT Energiajärjestelmät
LUT Kone

Miika Pyhäjärvi

Teräsrakenteiden laatuvaatimukset standardin EN 1090 mukaan

Diplomityö

2020

75 sivua, 9 kuvaa ja 17 taulukkoa

Tarkastajat: Professori Timo Björk
DI Kai Seppälä

Hakusanat: SFS-EN 1090, teräsrakenteet, rakennustuoteasetus, laadunvalvonta

Tässä diplomityössä paneudutaan standardin SFS-EN 1090 vaatimuksiin teräsrakenteiden valmistukselle. Työssä tarkastellaan, miten standardia sovelletaan Neste Engineering Solutionsin toteuttamissa projekteissa.

Kirjallisuuskatsauksessa käydään läpi kohdeyrityksen osalta oleelliset osat standardin vaatimuksista sekä kohdeyrityksen tämänhetkiset suunnitteluun ja valvontaan liittyvät ohjeistukset ja käytännöt.

Työn tavoitteena oli selvittää, miten kohdeyrityksen tuottama suunnitteluaineisto vastaa standardin vaatimuksiin sekä millä suunnittelun määritelmillä saisi varmistettua vaatimuksia vastaavan lopputuloksen. Työssä mietittiin myös teräsrakenteiden valmistajan näkökulmasta, miten suunnittelun tuottamaa ainestoa voisi kehittää helpottamaan valmistusta sekä vähentämään tulkinnanvaraisia asioita.

Myös toimitus- ja asennusvalvonnan osalta selvitettiin asioita, joilla kohdeyritys saisi varmistettua, että lopputuotteen laatuun vaikuttavat tekijät tulisivat huomioitua projektin eri vaiheissa.

Työssä esitetään kehitysehdotuksia kohdeyrityksen eri osapuolille. Kehitysehdotukset perustuvat standardeissa esitettyihin vaatimuksiin sekä siihen, miten niitä voisi soveltaa mahdollisimman hyvin kohdeyrityksen toiminnassa. Hyviä kehitysehdotuksia on myös saatu haastattelemalla henkilöitä, jotka työskentelevät eri tehtävissä teräsrakenteiden parissa.

Työn tuloksena voidaan todeta kohdeyrityksen toiminnan täyttävän vaatimukset teräsrakenteiden suunnittelulle ja valmistukselle. Hyödyntämällä kehitysehdotuksissa esitettyjä asioita, toiminta olisi suoraviivaisempaa ja selkeämpää. Myös laadunvarmistustoimenpiteet saataisiin kohdistettua tarkoituksenmukaisiin asioihin.

ABSTRACT

LUT University
LUT School of Energy Systems
LUT Mechanical Engineering

Miika Pyhäjärvi

Quality requirements for steel structures according to the standard EN 1090

Master's thesis

2020

75 pages, 9 figures and 17 tables

Examiners: Professor Timo Björk
M. Sc. Kai Seppälä

Keywords: SFS-EN 1090, steel structures, Construction Products Regulation, quality control

The requirements for steel structure manufacturing according to SFS-EN 1090 are examined in this Master´s thesis. The thesis investigates how the standard is used in projects executed by Neste Engineering Solutions.

In the theory part, the essential parts of the standard for the company´s projects are explained. Also company specific instructions for design and supervision of steel structures are presented.

The purpose of the thesis was evaluate how the design fulfills the requirements of the execution specification defined in the standard. The objective was also to find suggestions to the design that serves both company´s supervision and the contractor.

The thesis gives several development ideas to different departments inside the company. The ideas are based on requirements from the standard and how they could be utilized in the company´s work to achieve the required quality of steel structures. Development ideas are also gained by interviewing people working with steel structures both inside and outside the company.

Based on the results of the work, the company`s procedures fulfills the requirements for designing and manufacturing of steel structures. By utilizing the development ideas presented, the company could make their processes more straight forward. The development ideas also gives ideas how the quality assurance and quality control activities could be used in a more efficient way.

ALKUSANAT

Tämä diplomityö on tehty Neste Engineering Solutions Oy:lle.

Haluan kiittää diplomityön tarkastajia professori Timo Björkiä ja Kai Seppälää saamastani ohjauksesta ja palautteesta. Lisäksi osoitan kiitokset työni ohjaajalle Matti Karviselle asiantuntevasta ohjauksesta ja mielenkiintoisesta diplomityöaiheesta.

Työn ohessa opiskelu on ollut haastava projekti. Erityiskiitos kuuluu vaimolleni kannustuksesta ja tuesta opintojeni aikana.

Miika Pyhäjärvi
Porvoossa 30.5.2020

SISÄLLYSLUETTELO

TIIVISTELMÄ
ABSTRACT
ALKUSANAT
SISÄLLYSLUETTELO
LYHENTEET JA MÄÄRITELMÄT
1 JOHDANTO 9
1.1 Tutkimuksen kohdeyritys 10
2 TERÄSRAKENTEIDEN VALMISTUSTA KOSKEVAT STANDARDIT JA MÄÄRÄYKSET 11
2.1 Rakennustuoteasetus 11
2.2 SFS-EN 1090 Teräs- ja alumiinirakenteiden toteutus 12
3 TERÄSRAKENTEIDEN TOTEUTTAMINEN SFS-EN 1090 MUKAISESTI 15
3.1 Vaatimustenmukaisuuden osoittaminen, SFS-EN 1090-1 15
3.1.1 Alkutestaus 18
3.1.1 Tehtaan sisäinen laadunvalvonta (FPC) 19
3.1.2 Alkutarkastus 20
3.1.3 Jatkuva valvonta 21
3.1.4 Toteutuseritelmä 23
3.1.5 Suoritustasoilmoitus 24
3.1.6 CE-merkintä 24
3.2 SFS-EN 1090-2 teräsrakenteita koskevat tekniset vaatimukset 29
3.2.1 Suunnittelun määrittely 29
3.2.2 Toteutusluokka 29
3.2.3 Hitsaus 32
3.2.4 Hitsauksen koordinointi 37
3.2.5 Hitsien tarkastaminen 38
3.2.6 Liitosten jaottelu 42
3.2.7 Ruuvikokoonpanojen tarkastus 43
3.2.8 Materiaalit 44
3.2.9 Asentaminen 44

3.2.10 Dokumentointi 45
4 LAADUNVALVONNAN TYÖKALUT 45
4.1 Toimitusvalvonta 46
4.2 Työmaavalvonta 48
4.3 Henkilöpätevyydet 48
4.4 Laatusuunnitelma 51
5 NESTE ENGINEERING SOLUTIONS – TERÄSRAKENTEIDEN SUUNNITTELU JA TOTEUTUS 52
5.1 Suunnittelu 52
5.1.1 Työmäärittely 53
5.1.2 Yleis- ja asennuspiirustus 54
5.1.3 Kokoonpanoluettelo ja kokoonpanopiirustukset 54
5.1.4 Osaluettelo ja osapiirustukset 55
5.1.5 Materiaaliluettelo 55
5.1.6 Kiinnikeluettelo 55
5.1.7 Laskentaraportti 55
5.1.8 Työmäärittelyssä esitettyjä lisävaatimuksia 56
5.1.9 Teräsrakenteiden palosuojaus 58
5.2 Valvonta 60
5.2.1 Työmaavalvonta 60
5.2.1 Konepajavalvonta 61
5.3 Työn vastaanotto 61
5.3.1 HOS- Hand Over System 62
6 KEHITYSEHDOTUKSIA SUUNNITTELUUN JA VALVONTAAN 64
7 YHTEENVETO 69
LÄHTEET 71

LYHENTEET JA MÄÄRITELMÄT

API	American Petroleum Institute
AVCP	Assesment and Verification of Constancy of Performance, suoritustason pysyvyyden arviointi ja varmentaminen
CC	Consequence Class, seuraamusluokka
CE	European Corformity, vaatimustenmukaisuuden ilmoittava merkintä
CEN	Comité Européen de Normalisation, Eurooppalainen standardoimisjärjestö
CP	Common Practices
DCL	Ductility Class Low, seisminen sitkeysluokka- matala
DCM	Ductility Class Medium, seisminen sitkeysluokka- keskimääräinen
DCH	Ductility Class High, seisminen sitkeysluokka- korkea
DoP	Declaration of Performance, suoritustasoilmoitus
EEC	European Economic Community, Euroopan talousyhteisö
EN	Européen de Normalisation (fra), European standards, Eurooppalaiset standardit
EXC	Execution Class, toteutusluokka
FPC	Factory Production Control, tehtaan sisäinen laadunvalvonta
hEN	Harmonized European standard, yhdenmukaistettu Eurooppalainen standardi
HOS	Hand Over System, luovutusjärjestelmä
ISO	International Organization for Standardization, kansainvälinen standardisoimisjärjestö
ITC	Initial Type Calculation, laskennallinen alkutestaus
ITT	Initial Type Testing, alkutestaus (tyyppitestaus)
IWE	International Welding Engineer, kansainvälinen hitsausinsinööri
IWS	International Welding Specialist, kansainvälinen hitsausneuvo-
IWT	International Welding Technologist, kansainvälinen hitsausteknikko

MPCS	Manufacturer Provided Component Spesification, valmistajan laatima kokoonpanoeritelmä
NB	Notified Body, ilmoitettu laitos
NDT	Non Destructive Testing, ainetta rikkomaton testaus
NES	Neste Engineering Solutions
NPD	No Performance Determined, ominaisuutta ei ole määritelty
PPCS	Purchaser Provided Component Spesification, ostajan laatima kokoonpanoeritelmä
QC	Quality Control, laaduntarkastus
RC	Reliability class, luotettavuusluokka
Sa	Suihkupuhdistusaste
SFS	Suomen Standardisoimisliitto SFS ry
TR	Technical Report, tekninen raportti
WI	Work Instruction
WIC	Weld Inspection Class, hitsintarkastusluokka
WPS	Welding Procedure Specification, hitsausohje
WPQR	Welding Procedure Qualification Record, hitsauksen menetelmäkokeen hyväksymispöytäkirja

1 JOHDANTO

Vuonna 2013 voimaan tulleen rakennustuoteasetuksen 305/2011 myötä harmonisoitujen tuotestandardien mukaiset rakennustuotteet tulee CE-merkitä.

Harmonisoituja tuotestandardeja tulee käyttää, jos tuote kuuluu standardin soveltamisalan piiriin. Teräsrakenteiden osalta CE-merkinnässä ja valmistuksessa tulee käyttää harmonisoitua standardia SFS-EN 1090. SFS-EN 1090 mukaisten teräsrakenteiden CE-merkintä tuli pakolliseksi 1.7.2014, vuoden siirtymäajan jälkeen siitä kun rakennustuoteasetus astui voimaan.

Diplomityö on tehty Neste Engineering Solutions Oy:lle. Työn kirjallisuuskatsauksessa (kappaleet 2-4) käydään läpi teräsrakenteiden valmistamiseen liittyviä määräyksiä ja standardeja. Työssä käsitellään SFS-EN 1090 standardin kahta ensimmäistä osaa. Standardin ensimmäinen osa sisältää vaatimukset rakenteellisten kokoonpanojen vaatimustenmukaisuuden arviontiin ja toinen osa teräsrakenteiden tekniset vaatimukset. Standardien esittelyssä ja läpikäynnissä on keskitytty erityisesti standardien sisältöön niiltä osin, jotka koskevat Neste Engineering Solutions Oy:n projekteja. Näiden lisäksi työn kirjallisuusosiossa on esitetty erilaisia laadunvalvonnan työkaluja, joiden avulla voidaan varmistaa, että toimitukset täyttävät niille asetetut vaatimukset.

Kappaleessa 5 on esitetty, miten määräyksiä ja standardeja sovelletaan Neste Engineering Solutions Oy:n toteuttamissa projekteissa. Erityisesti on keskitytty siihen, miten kohdeyrityksen projektit toteutetaan suunnittelun, toimitus- ja asennusvalvonnan sekä työn vastaanoton osalta.

Työn tavoitteena on ollut selvittää standardin SFS-EN 1090 vaatimuksia sovellettuna Neste Engineering Solutions projekteihin. Työn tavoitteena on ollut arvioida, miten hyvin kohdeyritys ottaa huomioon standardien määräyksiä omissa ohjeissaan ja suunnitelmissaan. Lisäksi tarkoituksena on ollut luoda kehitysehdotuksia projektien suunnitteluun ja valvontaan joilla varmistetaan standardin ja tilaajan vaatimusten täyttyminen.

Kuvassa 1 on esitetty tyypillisiä teräsrakenteita prosessilaitoksessa, joita Neste Engineering Solutions suunnittelee ja toteuttaa projekteissaan. Teräsrakenteet ovat kantavia rakenteita, joiden päälle on asennettu prosessiputkistoja ja prosessilaitteita. Myös portaat, tasot ja kulkusillat ovat osana terärakennekokonaisuutta.

Kuva 1. Tyypillisiä kohdeyrityksen toteuttamia teräsrakenteita [1]

1.1 Tutkimuksen kohdeyritys

Neste Engineering Solutions Oy on suunnittelu- ja konsulttialan yritys, joka työllistää yli 1000 suunnittelualan ammattilaista. Yritys tarjoaa teknologia- ja suunnittelupalveluita. Ne sisältävät projektijohdon ja -hallinnan, suunnittelun, teknisen hankinnan, toteutuksen, rakennustyön johdon ja HSE- palveluita. Lisäksi yrityksen toimialaan kuuluu olennaisena osana teknologioiden kehittäminen.

Neste Engineering Solutionsin toiminta on keskittynyt erityisesti öljynjalostus- ja biotekнologian alueille. Lisäksi merkittävinä asiakkaina ovat kaasu- ja petrokemian sekä kemianteollisuuden yritykset maailmanlaajuisesti.

Neste Engineering Solutions päätoimipaikka sijaitsee Porvoossa. [2]

Tässä työssä Neste Engineering Solutions Oy:stä käytetään myös lyhennettä NES.

2 TERÄSRAKENTEIDEN VALMISTUSTA KOSKEVAT STANDARDIT JA MÄÄRÄYKSET

2.1 Rakennustuoteasetus

Rakennustuoteasetuksessa kerrotaan rakennustuotteen CE-merkinnän vaatimukset. Rakennustuoteasetuksen tavoite on yhtenäistää Euroopan tasolla tavat, joilla saadaan tarvittavat tiedot rakennustuotteiden suoritustasoista ja ominaisuuksista.

Rakennustuoteasetuksessa on lueteltu perusvaatimukset rakennuskohteelle. Perusvaatimukset luovat pohjan standardisoimisjärjestöille harmonisoitujen standardien luomiseksi. Perusvaatimukset ovat mekaaninen lujuus ja vakaus, paloturvallisuus, hygienia, terveys ja ympäristö, käyttöturvallisuus ja esteettömyys, meluntorjunta, energiansäästö ja lämmöneristys sekä luonnonvarojen kestävä käyttö. [3]

Rakennustuoteasetus on luonteeltaan velvoittava ja sen noudattaminen on EU:n jäsenvaltioille pakollista. Ilmoitettu laitos antaa valmistajalle todistuksen, joka oikeuttaa tuotteen CE-merkintään. [3]

Harmonisoitujen standardien tarkoitus on selkeyttää ja yhtenäistää eri direktiivien vaatimuksia. Noudattamalla harmonisoitua standardia täytetään direktiivin vaatimukset ja sitä kautta myös direktiivin perusteella laadittu kansallinen lainsäädäntö. [4]

Eurooppalainen harmonisoitu standardi on voimassa kaikissa Euroopan talousalueen maissa. Standardijärjestö CEN on laatinut standardin Europan Unionin toimeksiannosta. Harmonisoidut standardit ovat tuoteryhmäkohtaisia ja niiden soveltamisala määritellään standardissa. Soveltamisalan laajuus voi vaihdella suuresti. [5][6]

Jos valmistettavalle rakennustuotteelle on olemassa yhdenmukaistettu standardi, velvoittaa rakennustuoteasetus sen käyttöä ja tuotteen CE-merkintää. Yhdenmukaistetussa standardissa määritetään vaatimukset rakennustuotteelle ja sen valmistamiselle. [7]

2.2 SFS-EN 1090 Teräs- ja alumiinirakenteiden toteutus

SFS-EN 1090 on harmonisoitu tuotestandardi ja se kuuluu rakennustuotesetuksen piiriin. Tämä tarkoittaa, että tuotteet, jotka kuuluvat standardin soveltamisalan piirin tulee CE-merkitä.

SFS-EN 1090 Teräs- ja alumiinirakenteiden toteutus on standardisarja, joka sisältää viisi osaa taulukon 1 mukaisesti.

Taulukko 1. SFS-EN 1090 standardin osat

SFS-EN 1090-1	Vaatimukset rakenteellisten kokoonpanojen vaatimustenmukaisuuden arviointiin
SFS-EN 1090-2	Teräsrakenteiden tekniset vaatimukset
SFS-EN 1090-3	Alumiinirakenteita koskevat tekniset vaatimukset
SFS-EN 1090-4	Technical requirements for cold-formed structural steel elements and cold-formed structures for roof, ceiling, floor and wall applications
SFS-EN 1090-5	Technical requirements for cold-formed structural aluminium elements and cold-formed structures for roof, ceiling, floor and wall applications

Standardisarjaa on päivitetty viime vuosien aikana. Osasta 2 on julkaistu uusi versio vuonna 2018 ja uusi versio osasta 3 julkaistiin vuonna 2019. Osat 4 ja 5 ovat uusia, osa 4 on julkaistu vuonna 2019 ja osa 5 vuonna 2017. [8]

Osa 1 käsittelee vaatimustenmukaisuuden arviointia koskevia vaatimuksia eli ohjeistuksen CE-merkintää varten. Tämä standardi ei sisällä suunnittelua ja valmistamista koskevia sääntöjä, vaan ne löytyvät standardin osista 2-5.

Standardin SFS-EN 1090-1 soveltamisalaan kuuluvat rakennustuoteasetuksen mukaiset rakennuksen kantavuuteen vaikuttavat kokoonpanot. Standardia voi soveltaa sarjavalmisteisille ja yksilöllisesti valmistettaville teräsrakennekokoonpanoille ja myös tuotejärjestelmille. Soveltamisala kattaa konepajalla tapahtuvan rakenteellisten osien valmistuksen. Tähän kuuluu materiaalin hankinta, mekaaninen kiinnittäminen, hitsaus, esivalmisteiden kokoaminen, geometristen toleranssien toteaminen, tarkastukset ja dokumentointi. Standardin soveltamisalaan, eli CE-merkinnän piirin, ei kuulu työmaalla tehtävät työt. [9][10][11]

Standardin soveltamisala on hyvin laaja ja sitä ei ole määritelty yksityiskohtaisesti standardissa. Epäselvä soveltamisala on johtanut erilaisiin tulkintoihin siitä, mitä kuuluu CE-merkitä. [12]

Euroopan komissio on laatinut yhteenvedon tuotteista, joihin tulee soveltaa standardia SFS-EN 1090-1. Jotta tuote voidaan CE-merkitä SFS-EN 1090-1 mukaisena rakennustuotteena, tulee sen täyttää seuraavat ehdot:

1. Tuote kuuluu standardissa SFS-EN 1090-1 kuvailtuun soveltamisalaan.
2. Tuote on rakennustuote, rakennustuoteasetuksen 305/2011 artiklan 2.1 määritelmän mukaisesti
3. Tuote ei kuulu minkään muun eurooppalaisen standardin soveltamisalaan

SFS-EN 1090-1 soveltamisalan selventämiseksi, standardista vastaava tekninen komitea on laatinut teknisen raportin CEN/TR 17052:2017, jossa on lueteltu ne tuotteet, jotka kuuluvat standardin soveltamisen piiriin sekä tuotteet joihin ei sovelleta standardia. Teknisen raportin liitteessä A on lueteltu tuotteet, joihin standardia sovelletaan. Näitä tuotteita on yhteensä 64 kpl. Liitteessä B on listattu tuotteet, joihin standardia ei sovelleta. Näitä tuotteita on yhteensä lueteltu 92 kpl.

Soveltamisalaan kuuluvien listalla on öljynjalostusteollisuuteen liittyen esimerkiksi teollisuuslaitosten putkisiltojen kantavat rakenteet, portaat, kaiteet ja kulkusillat, jotka eivät liity kiinteästi koneeseen. Listalla ovat myös rakenteelliset teollisuuslaitteiden runkorakenteet ja tukirakenteet kuten palkit, ristikot ja pilarit, jotka toimitetaan erikseen eivätkä muodosta laitteen kiinteää osaa. [13]

Osa 2 käsittelee teräsrakenteiden teknisiä vaatimuksia. Standardin tarkoituksena on esittää ne vaatimukset, joilla varmistetaan teräsrakenteille riittävä mekaaninen kestävyys ja stabiilius. Myös rakenteiden käytettävyys ja ominaisuuksien säilyvyys ovat lähtökohtana tälle standardille. Standardi edellyttää myös, että rakennustyöt suoritetaan toteutuseritelmän ja standardin mukaisesti. Suorittamisen edellytyksenä ovat tarvittava ammattitaito, varusteet ja resurssit. [14]

Standardin osan 2 soveltamisala on määritelty standardissa ja se koskee alla lueteltuja teräsrakenteita ja kokoonpanoja, jotka valmistetaan:

- kuumavalssatuista rakenneterästuotteista lujuusluokkaan S700 saakka
- kylmämuovatuista profiileista ja muotolevyistä lujuusluokkaan S700 saakka (elleivät ne kuulu standardin EN 1090-4 soveltamisalaan)
- kuuma- ja kylmämuovatuista austeniittisista, austeniittis-ferriittisistä ja ferriittisistä teräksistä valmistetuista ruostumattomista terästuotteista
- kuuma- ja kylmämuovatuista rakenneputkista mukaan lukien standardimittaiset ja tilaustyönä tehdyt muovatut ja hitsaamalla valmistetut rakenneputket.

Osan kaksi edellisessä, vuonna 2012 julkaistussa versiossa soveltamisalaan kuului myös lujuusluokan S960 rakenneteräksistä valmistetut kokoonpanot erikseen luetelluin lisävaatimuksin. Tämän soveltamisalan kohta on kuitenkin poistettu vuonna 2018 julkaistusta versiosta. [14][15]

2018 tulleen päivityksen myötä vaatimukset kylmämuovatuille profiileille ja muotolevyille sekä niistä valmistettaville rakenteille (katto, seinä ja lattiarakenteisiin) on siirretty uuteen standardiin EN 1090-4. [14]

Standardin osa 3 käsittelee alumiinirakenteiden toteuttamisen vaatimuksia vastaavasti kuin osa 2 käsittelee teräksestä valmistettuja rakenteita. 2017 tulleen päivityksen myötä tekniset vaatimukset katoissa, sisäkatoissa, välipohjissa ja seinissä käytettäville kylmämuovatuille rakenteellisille alumiinikokoonpanoille ja alumiinirakenteille on siirretty standardin osaan numero 5. Osan 5 virallinen käyttöönotto tapahtui kuitenkin vasta vuonna 2019, kun uusi versio osasta 3 julkaistiin. [16][17]

2018 tulleen päivityksen myötä, vaatimukset kylmämuovatuille profiileille ja muotolevyille sekä niistä valmistettaville rakenteille (katto-, seinä- ja lattiarakenteisiin) on siirretty uuteen standardiin EN 1090-4. [17]

Osa 4 on julkaistu vuonna 2018 ja siihen on siirretty osasta 2 tekniset vaatimukset kylmämuovatuille profiileille ja muotolevyille sekä niistä valmistettaville rakenteille. [18]

Osa 5 julkaistiin vuonna 2017 ja siihen on siirretty osasta 3 tekniset vaatimukset katoissa, sisäkatoissa, välipohjissa ja seinissä käytettäville kylmämuovatuille rakenteellisille alumiinikokoonpanoille ja alumiinirakenteille. [19]

3 TERÄSRAKENTEIDEN TOTEUTTAMINEN SFS-EN 1090 MUKAISESTI

3.1 Vaatimustenmukaisuuden osoittaminen, SFS-EN 1090-1

Standardin SFS-EN 1090 mukaisten teräsrakenteiden valmistaja tulee olla sertifioitu kolmannen osapuolen toimesta. Rakennustuoteasetuksessa on määritelty eri tasot suoritustason pysyvyyden arviointiin. Eri tasoja on yhteensä viisi; 1+, 1, 2+, 3 ja 4. Jokaiselle tasolle on määritelty vastuut ja tehtävät valmistajalle sekä ilmoitetulle laitokselle. Vastuut ja tehtävät eri tasoilla on esitetty alla olevassa taulukossa 2. [20]

Taulukko 2. Suoritustason pysyvyyden arvioinnin vastuut ja tehtävät [20]

Suoritustason pysyvyyden arviointi- ja varmennusmenetelmät	AVCP- luokka					
	1+	1	2+		3	4
Tuotetyypin määritys tuotteen tyyppitestauksen (myös näytteenotto), tyyppilaskennan, taulukoitujen arvojen tai tuotetta kuvailevien asiakirjojen perusteella.	NB	NB	V	V	NB	V
Tehtaalla määräystenmukaisen testausohjelman mukaisesti otettujen näytteiden pistokoetestaus	V	V	V	-	-	-
Ennen tuotteen saattamista unionin markkinoille otettujen näytteiden pistokoetestaus	NB					
Tuotannon sisäinen laadunvalvonta	V	V	V	V	V	V
Tuotantolaitoksen sekä tuotannon sisäisen laadunvalvonnan alkutarkastus	NB	NB	NB	NB	-	-
Tuotannon sisäisen laadunvalvonnan jatkuva valvonta, arviointi ja evaluointi	NB	NB	NB	NB	-	-
V=Valmistaja NB=Ilmoitettu Laitos (Notified Body) tai teknisestä arvioinnista vastaava laitos (Technical assesment body)						

Standardi SFS-EN 1090-1 määrittelee liitteessä ZA.2, että rakenteellisille teräs- ja alumiinikokoonpanoille vaatimustenmukaisuuden osittamismenettely tulee tehdä AVCP luokan 2+ mukaisesti. Tämä tarkoittaa sitä, että valmistajan tulee suorittaa alkutestaus, tuotannon sisäinen laadunvalvonta sekä näytteiden otto, testaus ja tarkastus tehtaalla. Ilmoitettu laitos suorittaa tehtaan laadunvalvonnan alkutarkastuksen sekä jatkuvan valvonnan, arvioinnin ja hyväksymisen. Alkutarkastuksen jälkeen tarkastuslaitos tekee jatkuvaan valvontaan liittyviä tarkastuksia standardissa määrätyin väliajoin. Tarkastusvälit ovat riippuvaisia siitä,

minkä toteutusluokan mukaiselle valmistukselle tuotannon sisäisen laadunvalvonnan todistus on annettu. [14]

Taulukossa 3 on esitetty vaatimustenmukaisuuden arviointiin liittyvät standardin SFS-EN 1090-1 mukaiset tehtävät sekä miten tehtävät jakautuvat valmistajan ja tarkastuslaitoksen välillä. [11]

Taulukko 3. SFS-EN 1090-1 mukaiset tehtävät vaatimustenmukaisuuden arvioinnissa [11]

Tehtävät			**Tehtävän sisältö**	**Vaatimustenmukaisuuden arvioinnissa sovellettavat kohdat**
Valmistajan tehtävät	Alkutestaus		Kyseeseen tulevat taulukon ZA.1 toiminnallisiin ominaisuuksiin liittyvät tekijät	6.2
	Tehtaan sisäinen laadunvalvonta (FPC)		Kyseeseen tulevat taulukon ZA.1 toiminnallisiin ominaisuuksiin liittyvät tekijät	6.3
	Näytteiden otto, testaus ja tarkastus tehtaassa		Kyseeseen tulevat taulukon ZA.1 ominaisuudet	Taulukko 2
Ilmoitetun laitoksen tehtävät	Ilmoitetun laitoksen suorittama tehtaan sisäisen laadunvalvonnan varmentaminen seuraavilla perusteilla:	Tehtaan ja sen sisäisen laadunvalvonnan alkutarkastus	Kyseeseen tulevat taulukon ZA.1 ominaisuuksiin liittyvät tekijät	6.3 ja liite B
		Tehtaan sisäisen laadunvalvonnan jatkuva valvonta, arviointi ja hyväksyminen	Kyseeseen tulevat taulukon ZA.1 ominaisuuksiin liittyvät tekijät	6.3 ja liite B

3.1.1 Alkutestaus

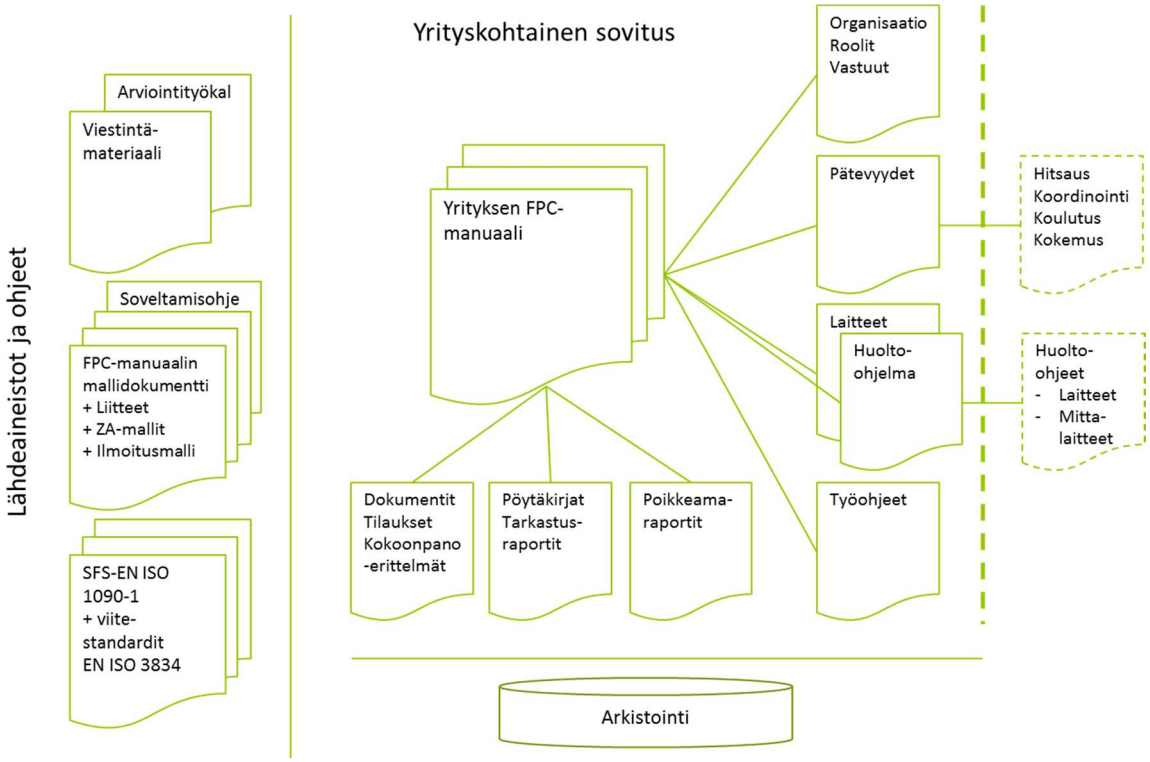
Alkutestauksen tarkistuksella valmistaja arvioi ja osoittaa kykynsä valmistaa SFS-EN 1090-1 mukaisia teräsrakennekokoonpanoja. Alkutestaukseen kuuluu laskennallisten valmiuksien testaus (ITC), jos valmistaja ilmoittaa rakenteellisia ominaisuuksia valmistamilleen tuotteille. Tämä tarkoittaa, että valmistaja suunnittelee tuotteita itse ja CE-

merkinnässä käyttää menetelmää 2 tai 3b. Valmistukseen kuuluva alkutestaus (ITT) tehdään CE - merkintämenetelmästä tai toteutusluokasta riippumatta. [11]

3.1.1 Tehtaan sisäinen laadunvalvonta (FPC)

Valmistajan tulee luoda sisäinen laadunvalvonnan järjestelmä FPC (Factory production control). Tällä varmistetaan, että valmistetut tuotteet täyttävät niille asetetut vaatimukset. FPC- järjestelmässä tulee olla kuvattuna kaikki menettelytavat, tarkastukset ja testaukset, joiden avulla voidaan arvioida tuotannossa käytettäviä tuotteita, välineitä, tuotantoprosesseja ja valmistettuja kokoonpanoja. Kaikki FPC- järjestelmän mukaiset tarkastukset ja arvioinnit tulee dokumentoida. FPC- järjestelmä tulee luoda ISO 9001 mukaisesti, mutta yrityksiltä ei edellytetä ISO 9001 mukaista laatujärjestelmää. [11]

Kuva 2 esittää sisäisen laadunhallinnan periaatteet. Vasemmassa reunassa on esitetty FPC-manuaalin lähdeaineisto, standardit ja mallidokumentit. Organisaatiot, roolit, vastuut, pätevyydet, laitteet, huolto-ohjelma ja työohjeet kuvaavat FPC -manuaalin sisältöä. Näihin liittyy myös henkilöstön koulutuksen kuvaaminen sekä laitteiden huolto-ohjeet. FPC-manuaalin alapuolella on esitetty, mitä kirjallista dokumentaatiota manuaalin mukaan tulee tuottaa ja arkistoida. Näihin kuuluu tilaukset, kokoonpanoeritelmät, pöytäkirjat, tarkastusraportit ja poikkeamaraportit. [21]



Kuva 2 Sisäisen laadunhallinnan periaatteet [21]

3.1.2 Alkutarkastus

Alkutarkastuksessa tarkastuslaitos arvioi FPC-manuaalin sisällön, jonka tulee vastata standardin asettamia vaatimuksia. Alkutarkastukseen kuuluu myös tuotantolaitoksen tarkastus. Siinä tarkastuslaitos varmistaa tuotannon ja olosuhteiden olevan FCP-manuaalin mukaiset. Jos valmistaja suunnittelee teräsrakenteita itse, arvioidaan myös sen vaatimustenmukaisuus alkutarkastuksessa. Taulukossa 4 on esitetty alkutarkastuksen tehtävät. Rakenteelliseen suunnitteluun liittyvä alkutarkastus tehdään vain, jos valmistaja ilmoittaa CE- merkinnässä suunnitteluun liittyviä ominaisuuksia. [11]

Taulukko 4. Alkutarkastuksen tehtävät [11]

Rakenteelliseen suunnitteluun liittyvät tehtävät	**Työn toteuttamiseen liittyvät tehtävät**
Yleistä: Tämän eurooppalaisen standardin piiriin kuuluvien teräs- ja alumiinikokoonpanojen rakenteelliseen suunnitteluun tarkoitettujen resurssien arviointi (tilat, henkilöstö ja välineet). Tähän sisältyy erityisesti: - Asianmukaisten välineiden ja resurssien kuten esim. käsinlaskentamenettelyjen ja/tai tietokoneiden ja tietokoneohjelmien saatavuuden ja toimivuuden arviointi näytteiden perusteella. - Toimenkuvausten ja henkilöstön pätevyysvaatimusten arviointi. - Rakenteellisessa suunnittelussa noudatettavien menettelytapojen arviointi mukaan lukien vaatimusten täyttymisen varmistamiseksi käytettävät tarkastusmenettelyt. Tehtävien tavoitteena on tarkistaa, että rakenteellisessa suunnittelussa noudatettava FPC-järjestelmä on riittävä ja toimiva.	Yleistä: Toteutusresurssien (tilat, henkilöstö ja laitteet) riittävyyden tarkastus ja arviointi standardien EN 1090-2 ja EN 1090-3 vaatimusten mukaisten teräs- ja alumiinikokoonpanojen valmistamiseen. Tähän sisältyy erityisesti: - Vaatimustenmukaisuuden varmistamisessa ja poikkeavuuksien käsittelyssä noudatettavan sisäisen järjestelmän tarkastaminen ja arviointi. - Toimenkuvausten ja henkilöstön pätevyysvaatimusten arviointi. Hitsauksen osalta tarkistetaan, että tehdas ja hitsauslaitteisto täyttävät FPC:n laitteita ja henkilöstöä koskevat vaatimukset. Hitsausta koskevassa todistuksessa esitetään seuraavat tiedot: - soveltamisala ja noudatettavat standardit - toteutusluokka/-luokat - hitsausprosessit - perusaineet - vastuullinen hitsauskoordinoija, katso standardi EN ISO 14731 - mahdolliset huomautukset. Tehtävien tavoitteena on tarkistaa, että FPC-järjestelmää noudattaen on mahdollista valmistaa tämän eurooppalaisen standardin vaatimukset täyttäviä kantavia teräs- ja/tai alumiinikokoonpanoja.

3.1.3 Jatkuva valvonta

Alkutarkastuksen jälkeen tarkastuslaitos suorittaa jatkuvaan valvontaan liittyviä tarkastuksia. Ensimmäinen tarkastus tehdään vuosi alkutarkastuksen jälkeen. Jatkuvan valvonnan tärkein tehtävä on varmistaa, että toiminta on FPC- järjestelmän mukaista. Standardi määrittelee ensimmäisen tarkastuksen jälkeiset tarkastukset toteutusluokan mukaisesti siten, mille toteutusluokalle tuotannon sisäisen laadunvalvonnan todistus on annettu. Alla olevas-

sa taulukossa 5 on esitetty toteutusluokan mukaiset väliajat jatkuvan valvonnan tarkastuksille. Tarkastusvälien pidentämisen ehtona on, että ensimmäisessä tarkastuksessa ei ilmene merkittäviä puutteita. [11]

Taulukko 5. Väliajat jatkuvan valvonnan tarkastuksille [11]

Toteutusluokka	**Valmistajan FPC:n tarkastusten väliajat alkutarkastuksen jälkeen (vuosia)**
EXC1	1-2-3-3
EXC2	1-2-3-3
EXC3	1-1-2-3-3
EXC4	1-1-2-3-3

Seuraavat merkittävät muutokset valmistajan toiminnassa ja FPC manuaalissa ovat myös asioita, jotka edellyttävät, että tarkastusväliä ei saa pidentää. [11]

a) uusi tai oleellisesti muuttunut tuotantolaitos
b) vastuullisen hitsauskoordinoijan vaihtuminen
c) uusia hitsausprosesseja, perusmateriaalityyppejä ja niihin liittyviä hitsausohjeiden hyväksymispöytäkirjoja (WPQR)
d) uusi oleellinen laite

Tilanteessa, jossa jatkuvan valvonnan tarkastusväliä on pidennetty, valmistajan tulee ilmoittaa tarkastuslaitokselle vuosittain, että edellä mainittuja muutoksia ei ole tapahtunut. Jatkuvaan valvontaan liittyvät tehtävät on esitetty taulukossa 6. Suunnitteluun liittyvät tehtävät tarkastetaan vain, jos valmistajan tuotannon sisäisen laadunvalvonnan vaatimustenmukaisuustodistus kattaa oikeuden ilmoittaa suunnitteluun liittyviä ominaisuuksia. Tässä tapauksessa myös alkutarkastuksessa on tarkastettu suunnitteluun liittyvät tehtävät. [9]

Taulukko 6. Jatkuvaan valvontaan liittyvät tehtävät [11]

Rakenteelliseen suunnitteluun liittyvät tehtävät	**Työn toteutukseen liittyvät tehtävät**
- Pistokokein tarkistetaan, että kokoonpanojen rakenteellisen suunnittelun vaatimat resurssit ovat olemassa ja toimintakuntoisia. - Pistokokein arvioidaan työhön käytettävien resurssien esim. käsinlaskentamenettelyjen ja/tai tietokonelaitteiden ja tietokoneohjelmien toimivuus. - Arvioidaan rakenteellisessa suunnittelussa käytettävät menettelyt mukaan lukien tarkastusmenettelyt, joilla vaatimustenmukaisuus saavutetaan. Rakenteellisessa suunnittelussa noudatettavan FPC- järjestelmän toimivuuden varmistaminen.	- Pistokokein tarkistetaan, että järjestelmä, jonka avulla valvotaan geometrisia vaatimuksia, oikeiden tuotteiden käyttöä sekä työn laatutasoja, täyttää vaatimukset EN 1090-2 tai EN 1090-3 mukaisesti. - Vaatimustenmukaisuuden varmistamisessa ja kaikkien poikkeavuuksien käsittelyssä noudatettavan sisäisen valvontajärjestelmän tarkastaminen ja arvioiminen. Kantavien teräs- ja alumiinikokoonpanojen valmistuksessa noudatettavan FPC-järjestelmän toimivuuden varmistaminen.

3.1.4 Toteutuseritelmä

Ympäristöministeriön asetuksessa kantavista rakenteista on säädetty, että kantavista ja jäykistävistä rakenteista on laadittava toteutuseritelmä. Vaatimus toteutuseritelmästä on myös viety standardiin SFS-EN 1090-2. [22][14]

Toteutuseritelmä käsittää kaikki ne asiakirjat, jotka sisältävät tietyn teräsrakenteen valmistamiseen tarvittavat tiedot ja vaatimukset. Toteutuseritelmä voi sisältää erilaisia piirustuksia, luetteloita, taulukoita ja muita asiakirjoja. Toteutuseritelmään kuuluvat asiat tulee olla sovittuna ennen kuin teräsrakenteiden valmistus voidaan aloittaa. [10]

Toteutuseritelmässä tulee esittää seuraavat asiat. [14]

a) SFS-EN 1090-2 liitteen A.1 mukaiset lisätiedot
b) tarvittaessa SFS-EN 1090-2 liitteen A.2 mukaiset vaihtoehdot
c) toteutusluokat
d) esikäsittelyasteet
e) toleranssiluokat
f) tekniset vaatimukset koskien töiden turvallisuutta

3.1.5 Suoritustasoilmoitus

Rakennustuoteasetuksen N:o 305/2011 mukaan yhdenmukaistetun standardin mukaisesti valmistetulle rakennustuotteelle tulee laatia suoritustasoilmoitus. SFS-EN 1090-1 on yhdenmukaistettu standardi, joten rakennustuoteasetuksen vaatimus suoritustasoilmoituksesta koskee standardin mukaisia rakenteita. [3][11]

Suoritustasoilmoituksen malli on esitetty rakennustuoteasetuksen liitteessä III. [20]

Suoritustasoilmoituksen laatiminen on edellytyksenä CE-merkin kiinnittämiselle. Suoritustasoilmoituksella valmistaja ilmoittaa ja ottaa vastuun siitä, että valmistettu tuote täyttää tuotestandardissa asetetut suoritustasot. [21][7]

3.1.6 CE-merkintä

Tuotteen CE-merkinnällä valmistaja vakuuttaa, että valmistettu tuote on harmonisoidun standardin mukaisesti suunniteltu ja valmistettu sekä tarvittava testaus on tehty standardin mukaisesti. CE- merkinnän antamista varten valmistajan tulee olla ilmoitetun laitoksen hyväksymä ja suoritustasoilmoitus pitää olla laadittuna. CE- merkinnän tulee olla direktiivin 93/68/EEC mukainen, merkintä tulee kiinnittää kokoonpanoon tai sen on löydyttävä kaupallisista asiakirjoista, tuotteen etiketistä tai pakkauksesta.

CE-merkinnän tulee sisältää seuraavat tiedot:

- Säädösten mukainen CE-merkki
- Valmistajan nimi tai tunnusmerkki ja rekisteröity osoite

- Merkinnän kiinnittämisvuoden kaksi viimeistä numeroa
- Tuotannon sisäisen laadunvalvontatodistuksen numero
- Eurooppalaisen standardin tunnus, jonka mukaan tuote CE- merkitään
- Tuotteen kuvaus ja tiedot: yleisnimi, materiaalit, mitat, suunniteltu käyttötarkoitus
- Viittaus suoritustasoilmoitukseen
- Viittaus kokoonpanoeritelmään
- Suoritustasot
- Toteutusluokka

CE-merkinnässä on olemassa kolme eri vaihtoehtoa tuotteen ominaisuuksien ilmoittamiseen. Eri vaihtoehdot on esitetty komission ohjeessa L (Guidance Paper L). Menetelmiä 1 ja 2 käytetään markkinoille saatetuille tuotteille. Menetelmä 3 on jaettu kahteen eri osaan; a ja b. Menetelmässä 3 lähtökohtaisesti teräsrakennekokoonpano suunnitellaan ja valmistetaan tiettyyn yksittäiseen käyttökohteeseen. [26][27]

Taulukossa 7 on esitetty eri CE- merkintämenetelmien eroavaisuudet.

Taulukko 7. Valmistajan ilmoitus rakenteellisten kokoonpanojen ominaisuuksista CE-merkinnässä eri menetelmille [11]

Toiminta	Valmistajan tehtävät ja toimituksen sisältö			
	1	2	3a	3b
Kokoonpanon rakenteellista suunnittelua koskevat laskelmat	**Ei**	**Kyllä** Kantavuuden mitoitus sisältyy CE-merkintään. Mitoitus tehdään tuotestandardissa määritellyllä tavalla	**Ei**	**Kyllä** Kantavuuden mitoitus sisältyy CE-merkintään. Mitoitus tehdään ostajan suunnitteluselosteen perusteella
Valmistuksen peruste	MPCS	MPCS	PPCS	MPCS
Kokoonpanon ominaisuuksia koskeva ilmoitus	Geometriaa ja materiaaleja koskevat tiedot ja kaikki muut tiedot, joita tarvitaan, jotta jotkut toiset voivat suorittaa rakenteellisen arvioinnin ja laskelmat	Toimitettavat kokoonpanot ovat tämän eurooppalaisen standardin mukaisia. Rakenteellisten ominaisuuksien osalta viitataan soveltuviin eurokoodien osiin ja kestävyys/kestävyydet annetaan ominaisarvona/ominaisarvoina tai mitoitusarvona/mitoitusarvoina	Toimitettu kokoonpano on tilaajan toimittamien suunnitelmien, PPCS:n mukainen.	Toimitettu kokoonpano on MPCS:n mukainen ja jäljitettävissä ostajan tilaukseen

Menetelmä 1: Tuoteominaisuuksien ilmoittaminen materiaaliominaisuuksien ja geometristen tietojen perusteella

Tätä menetelmää käytettäessä CE-merkinnässä tulee ilmoittaa kaikki tiedot, jotka tarvitaan kokoonpanon rakenteellisten ominaisuuksien määrittämiseen. Ominaisuudet tulee ilmoittaa siten, että ne vastaavat kokoonpanon käyttömaan suunnittelusäädösten vaatimuksia. Menetelmän 1 mukaisessa merkinnässä valmistaja ei välttämättä tiedä tuotteen tulevaa käyttökohdetta. Esimerkki menetelmän 1 mukaan CE-merkitystä SFS-EN 1090 mukaisesta tuotteesta on kantavana rakenteena käytettävä valssattu teräspalkki, ns. varastotuotteet. [11][28]

Menetelmä 2: Kokoonpanon lujuusarvojen ilmoittaminen

Kokoonpanon lujuusarvoihin perustuvaa menetelmää käytettäessä, CE-merkinnän tulee sisältää eurooppalaisten suunnittelustandardien mukaan määritetyt kestävyyden arvot perustuen yhteen tai useampaan kuormitustilanteeseen. Kestävyysarvot tulee esittää suunnitteluselosteessa tai lujuuslaskelmissa. Menetelmässä 2 valmistaja ei myöskään tiedä tuotteen tulevaa käyttökohdetta. Esimerkki tuotteesta, joka on merkitty menetelmän 2 mukaisesti, on teräsrakenteinen kantava profiilipelti. [11] [28]

Menetelmä 3a: Vaatimustenmukaisuusilmoitus tietyn kokoonpanoeritelmän perusteella

Tätä menetelmää CE-merkinnässä käytetään tilanteessa, jossa teräsrakennekokoonpanon suunnittelun on tehnyt joku muu kuin valmistaja. Kaikki valmistusta koskevat vaatimukset on esitetty kokoonpanoeritelmässä perustuen suunnittelutietoihin. Kokoonpanoeritelmän on voinut laatia ostaja tai ostaja yhteistyössä valmistavan tahon kanssa. Tyypillinen esimerkki menetelmän 3a mukaisesti merkitystä tuotteesta on rakennuksen teräsrunko. [11] [28] Kuvassa 3 on esitetty esimerkki CE-merkinnästä menetelmän 3a mukaan.

CE

01234

AnyCo Ltd, PO Box 21, B-1050

|A1> 11 <A1|

01234-CPD-00234

|A1> EN 1090-1:2009+A1:2011 <A1|

Hitsattu teräspalkki – M 346

Geometristen arvojen toleranssit: EN 1090-2.

Hitsattavuus: Standardin EN 10025-2 mukainen teräs S235J0.

Murtumissitkeys: 27 J 0°C:ssa.

Palokäyttäytyminen: Materiaalin luokka A1.

Kadmiumin päästöt: NPD.

Radioaktiivinen säteily: NPD.

Säilyvyys: Pinnan esikäsittely standardin EN 1090-2 mukaan, esikäsittelyaste P3. Pinta on maalattu standardin EN ISO 12944-5 mukaisesti, maalausjärjestelmä S.1.09.

Rakenteelliset ominaisuudet:

Suunnittelu: NPD.

Valmistus: Kokoonpanoeritelmän CS-034/2006 ja standardin EN 1090-2 mukaisesti, toteutusluokka EXC2.

Kuva 3. Esimerkki CE-merkinnästä menetelmän 3a mukaan [11]

Menetelmä 3b: Kokoonpanon lujuusarvon/-arvojen ilmoittaminen perustuen ostajan tilaukseen

Tätä menetelmää CE-merkinnässä käytetään, tapauksissa, jossa tilaaja on määritellyt kuormitustilanteet ja valmistaja on laatinut suunnitelmat ja mitoituslaskelmat. Esimerkki 3b menetelmällä merkitystä tuotteesta voi olla teräsrunko, tapauksessa, jossa valmistaja suunnittelee valmisosat tilaajan antamien määritelmien mukaisiksi. [11][28]

3.2 SFS-EN 1090-2 teräsrakenteita koskevat tekniset vaatimukset

Tässä kappaleessa esitetään teknisiä vaatimuksia SFS-EN 1090-2 mukaiselle teräsrakenteiden valmistukselle. Standardin teknisiä vaatimuksia ei esitellä kokonaisuudessaan, vaan kappaleessa keskitytään vaatimuksiin, jotka koskevat NES -projekteissa toteutettavia teräsrakenteita.

3.2.1 Suunnittelun määrittely

Toteutuseritelmässä tulee määritellä kaikki ne asiat ja vaatimukset, jotka tarvitaan, jotta tietty teräsrakenne voidaan valmistaa SFS-EN 1090-2 mukaisesti. Standardi ei suoraan määrittele, kenen vastuulla toteutuseritelmän laatiminen on. Käytännössä toteutuseritelmän laatiminen kuitenkin kuuluu suunnittelijalle. Toteutuseritelmään suunnittelija määrittelee miten valmistukseen liittyvillä asioilla varmistetaan, että lopputuote vastaa kaikilta osin suunniteltua rakennetta. Jos toteutuseritelmästä puuttuu valmistamisen kannalta oleellisia tietoja, tulisi nämä ennen valmistusta varmistaa rakennesuunnittelijalta. [14][23]

SFS-EN 1090-2 liitteessä A, taulukossa A.1 on lueteltu ne kohdat standardissa, joissa on vaatimuksena esittää lisätietoja, jotta työn toteuttamista varten vaatimukset olisi yksiselitteisesti määritelty. Taulukossa on yhteensä 60 kohtaa, jotka vaativat lisätarkennuksia. Näille 60 kohdalle on standardissa käytetty sanontaa ”tulee esittää” kuvaamaan vaatimusta lisätiedoista. Suunnittelijan tulisi määritellä vastaukset kaikkiin taulukon A.1 kohtiin, jotta valmistuksen kannalta ei olisi epäselviä asioita. [14]

Lisäksi liitteessä A on taulukko A.2, jossa on lueteltu ne kohdat standardissa, jossa on sanonta ”ellei toisin esitetä” tai ”tulee esittää jos”. Kyseisissä kohdissa suunnittelija voi tarvittaessa esittää lisävaatimuksia tai vaihtoehtoja toteutukseen liittyville vaatimuksille. [14]

3.2.2 Toteutusluokka

Standardissa SFS-EN 1090-2 esitetään neljä eri toteutusluokkaa, EXC1, EXC2, EXC3 ja EXC4. Toteutusluokassa EXC4 valmistukseen liittyvät vaatimukset ovat suurimmat. Jos suunnitelmissa ei ole esitetty mitä toteutusluokkaa tulee noudattaa, tulee EXC2 tason vaatimukset kuitenkin täyttää. Toteutusluokan perusteella määräytyy vaatimukset valmistuk-

selle ja tarkastuksille. Standardin liitteessä A.3 on esitetty vaatimustasot eri toteutusluokille. Taulukossa on joko esitetty vaatimus tai siinä on viittaus standardiin, jossa vaatimus esitetään. Toteutusluokista riippuvia asioita on yhteensä yli kolmekymmentä. Toteutusluokat vaikuttavat esimerkiksi seuraaviin asioihin: vaadittuihin laatuasiakirjoihin, materiaalien jäljitettävyyteen, termiseen leikkaukseen, hitsaukseen, hitsausten tarkastukseen, mekaaniseen kiinnittämiseen ja asentamiseen. [14]

Suunnittelija määrittelee toteutusluokan. Ohjeet toteutusluokan valintaan on standardin SFS-EN 1090-2 päivityksen myötä siirretty standardin liitteestä B, standardin SFS-EN 1993-1-1 liitteeseen C. Vanhassa standardissa toteutusluokan valinta perustui rakenteen seuraamusluokkaan, käyttöluokkaan ja tuotantoluokkaan. [14][29]

SFS-EN 1993-1-1 toteutusluokan valinta perustuu seuraamusluokkaan (cc), luotettavuusluokkaan (rc) tai molempiin. Toinen toteutusluokan valintaan vaikuttava asia on rakenteeseen kohdistuvan kuormituksen tyyppi. Kuormitustyypiksi valitaan joko staattinen tai väsyttävä. Jos rakenne suunnitellaan seismiselle kuormitukselle, tulee seisminen sitkeysluokka huomioida ja sen vaikutus toteutusluokkaan. Luotettavuusluokassa RC3 ja seuraamusluokassa CC3 voidaan rakenteille esittää noudatettavaksi toteutusluokan EXC4 vaatimuksia, jos mahdollisen vaurion seuraukset ovat hyvin vakavat. Taulukossa 8 on esitetty se miten toteutusluokka valitaan seuraamusluokan tai luotettavuusluokan sekä kuormituksen perusteella. [29]

Taulukko 8. Toteutusluokan valinta. [29]

Luotettavuusluokka tai Seuraamusluokka	**Kuormituksen tyyppi**	
	Staattinen, kvasi-staattinen tai seisminen DCL	**Väsyttävä tai seisminen DCM tai DCH**
RC3 tai CC3	EXC3	EXC3
RC2 tai CC2	EXC2	EXC3
RC1 tai CC1	EXC1	EXC2
DCL, DCM ja DCH viittaavat seismisiin sitkeysluokkiin, jotka määritellään standardissa EN 1998-1. DCL=matala, DCM=keskimääräinen, DCH=korkea		

Toteutusluokan EXC1 mukaisen rakenteen kokoonpanolle on jossain tapauksissa sovellettava EXC2 luokan vaatimuksia. Kokoonpanot, joissa EXC2 luokan vaatimuksia tulee noudattaa ovat:

a) hitsatut kokoonpanot, jotka valmistetaan terästuotteista, joiden lujuusluokka on yhtä suuri tai suurempi kuin S355
b) hitsatut kokoonpanot, jotka ovat rakenteellisen toimivuuden kannalta tärkeitä ja jotka kootaan hitsaamalla työmaalla
c) pyöreistä rakenneputkista hitsaamalla valmistetuille ristikkokokoonpanot, joissa putkien päitä joudutaan leikkaamaan erityiseen muotoon
d) kokoonpanot, jotka valmistetaan kuumamuovaamalla tai joita lämpökäsitellään valmistuksen aikana. [7]

Seuraamusluokan (CC) ja luotettavuusluokan (RC) käsitteet ja valintakriteerit on määritelty standardissa SFS-EN 1990. [30]

Seuraamusluokkia on kolme, CC1, CC2 ja CC3. Seuraamusluokka valitaan perustuen vahingon suuruuteen, joka aiheutuisi rakenteen mahdollisen vaurioitumisen tai sortumisen johdosta. Alla olevassa taulukossa 9 on esitetty kriteerit seuraamusluokan valinnalle sekä annettu esimerkkejä rakenteista jokaiseen seuraamusluokkaan. [30]

Taulukko 9. Seuraamusluokan valinta [30]

Seuramusluokka	**Kuvaus**	**Rakennuksia sekä maa- ja vesirakennuskohteita koskevia esimerkkejä**
CC3	Suuret seuraamukset hengenmenetysten tai hyvin suurten taloudellisten, sosiaalisten tai ympäristövahinkojen takia	Pääkatsomot; julkiset rakennukset, joissa vaurion seuraamukset ovat suuret (esim. konserttitalo)
CC2	Keskisuuret seuraamukset hengenmenetysten tai merkittävien taloudellisten, sosiaalisten tai ympäristövahinkojen takia	Asuin- ja liikerakennukset; julkiset rakennukset, joissa vaurion seuraamukset ovat keskisuuret (esim. toimistorakennus)
CC1	Vähäiset seuraamukset hengenmenetysten tai pienten tai merkityksettömien taloudellisten, sosiaalisten tai ympäristövahinkojen takia	Maa- ja metsätalousrakennukset, joissa ei yleensä oleskele ihmisiä (esim. varastorakennukset), kasvihuoneet

3.2.3 Hitsaus

Laatustandardeissa hitsaus luokitellaan erikoisprosessiksi. Tämä edellyttää, että noudatetaan kirjallisia ohjeita. [31]

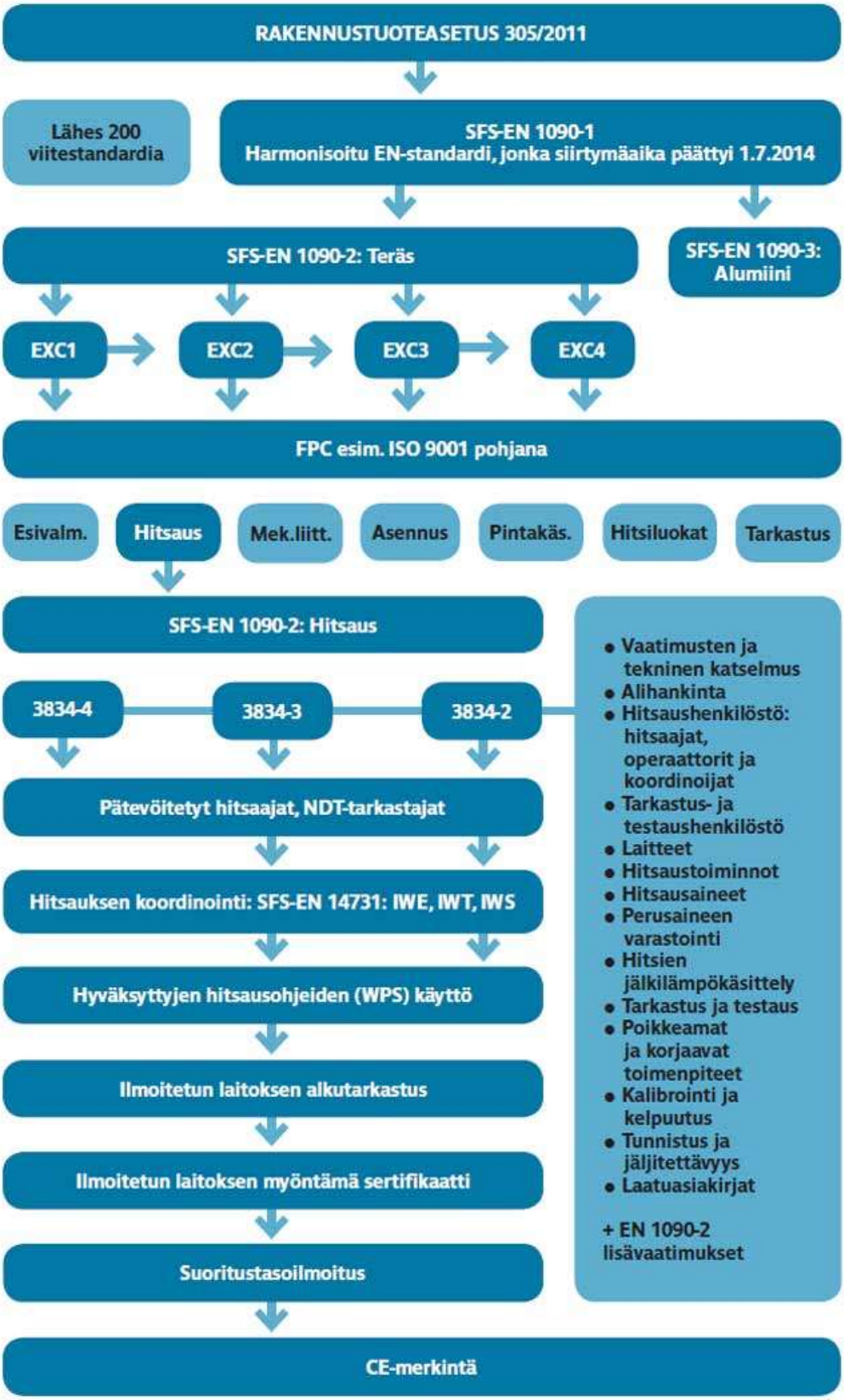
Teräsrakenteiden hitsaukselle standardi SFS-EN 1090-2 asettaa vaatimukseksi ISO 3834 mukaisen toiminnan. Valmistajalla ei kuitenkaan tarvitse olla ISO 3834 mukaisesti sertifioitu hitsauksen laatujärjestelmä. Sovellettava taso ISO 3834 mukaisessa toiminnassa määräytyy toteutusluokan mukaan seuraavasti:

- EXC1: EN ISO 3834-4 "Peruslaatuvaatimukset"
- EXC2: EN ISO 3834-3 "Vakiolaatuvaatimukset"
- EXC3 ja EXC4: EN ISO 3834-2 "Kattavat laatuvaatimukset".

ISO 3834 sovellettavan osan lisäksi SFS-EN 1090-2 määrittelee hitsaukseen liittyen huomattavan määrän lisävaatimuksia aina hitsausprosessien hyväksymisestä, hitsaustyön suunnitteluun ja -tarkastukseen. [14]

Toteutusluokka määrää myös vaatimukset hitsauksen koordinoinnille, menetelmäkokeiden hyväksymistavoille sekä käytettävälle hitsiluokalle. Hitsiluokan kohdalla standardi myös tarkentaa vaatimuksia teräsrakenteissa yleisesti käytettäville ja tärkeille liitosmuodoille. Toteutusluokassa EXC2 hitsiluokaksi on määritelty C, mutta SFS-EN 1090-2 kuitenkin määrää hitsin a-mitalle hyväksymiskriteerin hitsiluokan B mukaan. [14]

Kuvassa 4 on esitetty, miten rakennustuoteasetus ja standardi SFS-EN 1090-1 vaikuttavat valmistajan hitsaustoimintoihin.



Kuva 4. Hitsaustoimintojen vaatimukset SFS-EN 1090-1 mukaisessa toiminnassa [32]

Hitsaussuunnitelma

SFS-EN 1090-2 mukaisten teräsrakenteiden valmistuksessa vaatimuksena on hitsaussuunnitelman laatiminen. Hitsaussuunnitelman sisältö on määritelty standardissa. Suunnitelman tulee olla laaja ja hyvinkin yksityiskohtainen. Tämä kertoo siitä, kuinka tärkeä osa teräsrakenteiden valmistusta hitsaamalla liittäminen on. Alla on listattu asioita, joita hitsaussuunnitelman tulee sisältää.

a) asianmukaisen hitsausmenetelmän hyväksyntään perustuvat hitsausohjeet, hitsausaineet, mahdollinen korotettu työlämpötila, välipalkolämpötila ja hitsauksen jälkeinen lämpökäsittely
b) toimenpiteet hitsauksen aikana ja sen jälkeen tapahtuvien muodonmuutosten välttämiseksi
c) hitsausjärjestys ja mahdolliset aloitus- ja lopetuskohtia koskevat rajoitukset ja hyväksyttävät alueet mukaan lukien väliaikaiset aloitus- ja lopetuskohdat, jos hitsin geometria estää jatkuvan hitsauksen.
d) välitarkastusta koskevat vaatimukset
e) kokoonpanojen kääntäminen hitsausprosessissa ja hitsausjärjestys
f) paikalleen kiinnittäminen
g) toimenpiteet lamellirepeilyn välttämiseksi
h) toimenpiteet lämmöntuonnin rajoittamiseksi karkenemisen välttämiseksi ainepaksuuteen ja liitosmittoihin nähden pienissä hitseissä
i) hitsausaineille tarkoitetut erityislaitteet ja -vaatimukset (alhainen vetypitoisuus, kosteuden ja lämpötilan säätäminen jne.)
j) hitsin muoto ja viimeistely ruostumattomille teräksille
k) hitsien hyväksymiskriteereihin liittyvät vaatimukset
l) tarkastus- ja testaussuunnitelma
m) hitsin tunnistusvaatimukset
n) pintakäsittelyä koskevat vaatimukset [14]

Hitsausohjeet ja menetelmäkokeet

Kaikki hitsaus toteutusluokissa EXC2, EXC3 ja EXC4 tulee suorittaa käyttäen kirjallista hitsausohjetta. Hitsausohje laaditaan perustuen hyväksyttyyn hitsausmenetelmään. Hitsausmenetelmän hyväksyntään on olemassa viisi eri vaihtoehtoa. Hyväksyntä voi perustua

menetelmäkokeeseen SFS-EN ISO 156146 mukaisesti, esituotannolliseen kokeeseen SFS-EN ISO 15613 mukaisesti, standardimenetelmään SFS-EN ISO 15612 mukaisesti, aikaisempaan kokemukseen SFS-EN ISO 15611 mukaisesti tai testattuihin lisäaineisiin SFS-EN ISO 15610 mukaisesti. Hyväksyntämenetelmän valinta tehdään käytettävän toteutusluokan mukaan. Esimerkiksi aikaisempaan kokemukseen ja testattuihin lisäaineisiin perustuvat menetelmät eivät ole hyväksyttäviä toteutusluokissa EXC3 ja EXC4. Alla olevassa taulukossa 10 on esitelty hitsausmenetelmän hyväksyntävaihtoehdot toteutusluokkien mukaan. [14]

Taulukko 10. Hitsausmenetelmien hyväksyntä [14]

Hyväksyntämenetelmä		EXC2	EXC3	EXC4
Menetelmäkoe	SFS-EN ISO15614-1	x	x	x
Esituotannollinen koe	SFS-EN ISO15613-1	x	x	x
Standardimenetelmä	SFS-EN ISO15612	x	x	x
Aikaisempi kokemus	SFS-EN ISO15611	x	-	-
Testatut lisäaineet	SFS-EN ISO15610	x	-	-

SFS-EN 1090-2 vuoden 2012 versiossa standardimenetelmän käyttäminen toteutusluokassa EXC3 ja EXC4 ei ollut hyväksyttävää. Uudessa, vuonna 2018 julkaistussa ja vahvistetussa versiossa standardimenetelmää voidaan käyttää hitsausmenetelmän hyväksymiseen myös toteutusluokissa EXC3 ja EXC4, jos se on hyväksytty toteutuseritelmässä. [14][15]

Standardimenetelmän käyttö tarkoittaa, että valmistaja hankkii riippumattomalta taholta käyttöönsä hitsausohjeet, jotka on hyväksytty menetelmäkokeella. Hitsausohjeen käytön edellytyksenä on tietenkin se, että ohjetta noudatetaan ja sovelletaan pätevyysalueen sallimissa rajoissa. Standardimenetelmän mukainen hitsausohje tulee ottaa käyttöön samalla tavalla kuin muutkin hitsausohjeet. Tämä tarkoittaa, että hitsausohjeella hitsatut viisi ensimmäistä liitosta tarkastetaan SFS-EN 1090-2 kohdan 12.4.2.2 mukaisesti.

Standardimenetelmän hankkiminen on kustannustehokkain tapa valmistajalle hankkia hitsausohjeet, koska sillä säästetään aikaa ja rahaa sekä vähennetään erityisosaamisen tarvet-

ta. Standardimenetelmän rajoitukset EXC3 ja EXC4 toteutusluokissa tulee kuitenkin muistaa. [32][33]

3.2.4 Hitsauksen koordinointi

SFS-EN 1090-2 mukaisten teräsrakenteiden hitsaustoiminnot tulee olla EN ISO 3834 mukaiset, sovellettava taso määräytyy toteutusluokan mukaan. Hitsauksen koordinoinnille on myös toteutusluokan mukaan määräytyviä vaatimuksia. Toteutusluokassa EXC1 riittää, että hitsaustöitä valvotaan EN ISO 3834-4 mukaisesti. Toteutusluokissa EXC2, EXC3 ja EXC4 hitsauksen koordinoinnin tulee suorittaa henkilö, jolla on EN ISO 14731 mukainen tekninen tietämys hitsauksesta. SFS-EN ISO 14731 standardissa tekninen tietämyksen taso on jaettu kolmeen tasoon, B, S ja C. B tarkoittaa perustietämystä, S erityistietämystä ja C kattavaa tietämystä. Alla olevassa taulukossa 11 on esitetty SFS-EN 1090-2 mukaiset vaatimustasot hitsauskoordinaattorille toteutusluokittain seostamattomille rakenneteräksille. Vaatimustasoon vaikuttaa myös teräsryhmä ja ainepaksuus joista teräsrakenteita valmistetaan. [14][34]

Taulukko 11. Vaatimukset hitsauskoordinoijan teknisen tietämyksen tasolle [14]

Toteutusluokka	**Teräkset, lujuusluokka ja teräsryhmä**	**Ainepaksuus (mm)**		
		$t \leq 25$	$25 \leq t \leq 50$	$t > 50$
EXC2	S235 - S355 (1.1, 1.2, 1.4)	B	S	C
	S420 - S700 (1.3, 2, 3)	S	C	C
EXC3	S235 - S355 (1.1, 1.2, 1.4)	S	C	C
	S420 - S700 (1.3, 2, 3)	C	C	C
EXC4	Kaikki teräsryhmät	C	C	C

3.2.5 Hitsien tarkastaminen

Standardi SFS-EN 1090-2 määrittelee tarkastuslaajuudet erityyppisille hitseille. Kaikki hitsit tulee aina tarkastaa silmämääräisesti kauttaaltaan. Jos silmämääräisessä tarkastuksessa havaitaan virheitä, tulee hitseille suorittaa joko tunkeumaneste- tai magneettijauhetarkastus. Taulukossa 12 on esitetty tarkastuslaajuudet erityyppisille hitseille, toteutusluokan mukaan. Taulukkoa sovelletaan sen jälkeen, kun hitsausohje on hyväksytysti otettu käyttöön. Uuden hitsausohjeen käyttöönotossa tulee tarkastaa viisi ensimmäistä tuotantohitsiä ja hitsien tulee täyttää hitsiluokan B vaatimukset. Tällä halutaan varmistaa, että hitsausohje toimii tuotanto-olosuhteissa. [14]

Taulukossa esitetyt NDT-laajuudet koskevat sekä pinta- että sisäisten virheiden tarkastamista. Tarkastusmenetelmän valinta on hitsauksen koordinointihenkilöstön tehtävä ja menetelmä valitaan hitsityypin mukaan. [14]

Standardin SFS-EN 1090-2 vuoden 2018 versiossa on päivitetty rutiini-NDT-tarkastuksia määrittelevää taulukkoa. Vuoden 2012 versiossa poikittaisten päittäishitsien ja osittain läpihitsattujen päittäishitsien tarkastuslaajuuteen vaikutti hitsin hyväksikäyttöaste. Tämä tarkoitti sitä, että suunnittelijan tuli määritellä hitsin hyväksikäyttöaste, jotta tarkastukset oli mahdollista tehdä standardin vaatimassa laajuudessa. Vuoden 2018 versiossa päittäishitsien tarkastuslaajuuteen ei vaikuta hitsin hyväksikäyttöaste. Tämä tarkoittaa, että tietyissä rakenteissa päittäishitsien tarkastuslaajuus voi olla standardin uudemman version mukaan huomattavasti korkeampi verrattuna vanhaan. [14][15]

Taulukko 12. NDT tarkastuslaajuudet toteutusluokittain [14]

Hitsin tyyppi		**Konepaja- ja työmaahitsit**			
		EXC1	**EXC2**	**EXC3**	**EXC4**
Poikittaiset päittäishitsit ja osittain läpihitsatut päittäishitsit		0%	10%	20%	20%
Poikittaiset päittäishitsit ja osittain läpihitsatut hitsit:	Ristiliitoksissa	0%	10%	20%	20%
	T-liitoksissa	0%	5%	10%	10%
Poikittaiset pienahitsit	kun a > 12mm tai t > 30 mm	0%	5%	10%	10%
	kun a ≤ 12mm ja t ≤ 30 mm	0%	0%	5%	5%
Täyden tunkeutuman pitkittäishitsit nosturipalkkien uuman ja ylälaipan välillä		0%	10%	20%	20%
Muut pitkittäishitsit, jäykisteiden hitsit ja hitsit, joiden toteutuseritelmässä esitetään olevan puristettuja		0%	0%	5%	5%
a=pienahitsin a-mitta, t=liitettävien aineiden paksuus					

Taulukon 10 mukaisten tarkastusten lisäksi suunnittelija voi toteutuseritelmässä myös määritellä yksittäisiä hitsejä tarkastettavaksi. Tässä tapauksessa standardi mahdollistaa sen, että suunnittelijan määrittelemien hitsien tarkastukset voidaan laskea mukaan rutiinitarkastuslaajuuksiin. [14]

Standardi antaa myös ohjeet projektikohtaisille tarkastuksille ja testauksille. Toteutusluokassa EXC4 tulee toteutuseritelmässä aina esittää tarkastettavat hitsit. Standardin SFS-EN 1090-2 vuoden 2018 versioon on lisätty hitsintarkastusluokat, WIC (Weld Inspection Class). Hitsintarkastusluokka määrittelee täydentävän tarkastuslaajuuden toteutusluokan mukaisen tarkastuslaajuuden lisäksi. Suunnittelija määrittelee hitsintarkastusluokan hitsin kriittisyyden perusteella. Taulukossa 13 on esitetty ohjeita suunnittelijalle, joiden perusteella hitsintarkastusluokat valitaan. Tarkastusluokan valinta perustuu kolmeen tekijään, väsyttävän käytön aste, liitoksen tai kokoonpanon murtumisen seuraukset ja hitsin jännitys. Taulukossa 14 on esitetty liitostyypeittäin hitsien tarkastuslaajuudet tarkastusluokan mukaan. [14]

Taulukko 13. Hitsintarkastusluokanvalinta [14]

Väsyttävän käytön aste	**Liitoksen tai kokoonpanon murtumisen seuraukset**	**Hitsin jännitys**	**Hitsintarkastusluokka**
Korkean väsyttävän käytön aste	Merkittävä	Hitsit, joissa dynaaminen pääjännitys suuntautuu hitsin poikkisuuntaan (välillä 45° – 135°)	WIC5
		Hitsit, joissa dynaaminen pääjännitys suuntautuu hitsin suuntaan (välillä -45° – +45°)	WIC4
	Ei merkittävä	Hitsit, joissa dynaaminen pääjännitys suuntautuu hitsin poikkisuuntaan (välillä 45° – 135°)	WIC3
		Hitsit, joissa dynaaminen pääjännitys suuntautuu hitsin suuntaan (välillä -45° – +45°)	WIC2
Ei väsymistä tai matala väsyttävän käytön aste	Merkittävä	Hitsit, joihin kohdistuu suuria vetojännityksiä poikkisuunnassa	WIC5
		Hitsit, joihin kohdistuu pieniä vetorasituksia poikkisuunnassa ja/tai suuria leikkausjännityksiä	WIC4
	Ei merkittävä	Toteutusluokkien EXC3- tai EXC4 hitsit, joihin kohdistuu suuria poikkisuuntaisia vetojännityksiä	WIC3
		Kaikki muut kuormitetut hitsit paitsi toteutusluokan EXC1 hitsit	WIC2
		Toteutusluokan EXC1 hitsit ja kuormittamattomat hitsit	WIC1

Taulukko 14. Tarkastuslaajuudet ja menetelmät WIC-luokan mukaan [14]

Hitsintarkastusluokka (WIC)	Liitoksen tyyppi	Tarkastuslaajuus, %		
		RT	UT	MT/PT
WIC5	Läpihitsattu päittäishitsi (in-line)	10	100	100
	Läpihitsattu T-päittäishitsi	0	100	100
	Osittain läpihitsatut hitsit, joiden tunkeumasyvyys on yli 12 mm	0	20	100
	Muut osittain läpihitsatut hitsit ja kaikki pienahitsit	0	0	100
WIC4	Läpihitsattu päittäishitsi (in-line)	5	50	100
	Läpihitsattu T-päittäishitsi	0	50	100
	Osittain läpihitsatut hitsit, joiden tunkeumasyvyys on yli 12 mm	0	10	100
	Muut osittain läpihitsatut hitsit ja kaikki pienahitsit	0	0	100
WIC3	Läpihitsattu päittäishitsi (in-line)	0	20	20
	Läpihitsattu T-päittäishitsi	0	20	20
	Osittain läpihitsatut hitsit, joiden tunkeumasyvyys on yli 12 mm	0	5	20
	Muut osittain läpihitsatut hitsit ja kaikki pienahitsit	0	0	20
WIC2	Läpihitsattu päittäishitsi (in-line)	0	10	10
	Läpihitsattu T-päittäishitsi	0	10	10
	Osittain läpihitsatut hitsit, joiden tunkeumasyvyys on yli 12 mm	0	5	5
	Muut osittain läpihitsatut hitsit ja kaikki pienahitsit	0	0	5
WIC1	Kaikki liitostyypit	0	0	0

EXC- luokkiin perustuvat tarkastuslaajuudet voivat joissain tapauksissa olla riittämättömät tai vaihtoehtoisesti kohdistaa tarkastukset vääriin kohtiin. Standardi perustelee hitsintarkastusluokkien käytön kolmella asialla seuraavasti:

a) hyväksymiskriteereistä voi tulla liian ankaria vähemmän tärkeille hitseille,
b) tarkastuksista voi tulla liian laajoja vähemmän tärkeille hitseille,
c) määritetty tarkastus voi olla kohdistumatta kriittisiin kohtiin. [14]

3.2.6 Liitosten jaottelu

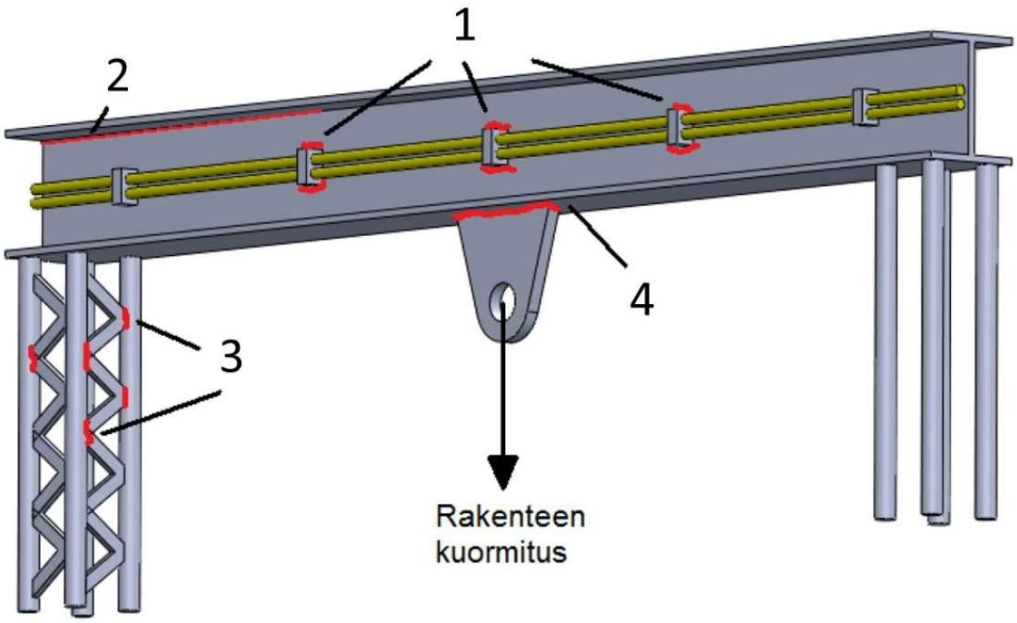
Hitsatut liitokset voidaan jaotella niiden käyttötarkoituksen ja kuormitusten perustella voima-, kiinnitys-, side- ja varusteluliitoksiin. Kuvassa 5 on esitetty esimerkit eri liitostyypeistä.

Voimaliitos kytkee sarjaan liitettävät rakenneosat ja välittää voimasuureet kappaleesta toiseen. Voimaliitos mitoitetaan yleensä tasalujaksi liitettävien kappaleiden kanssa. Esimerkkejä voimaliitoksista ovat palkkien jatkohitsit, palkkien ja pilareiden liitokset sekä paineastian vaipan liitokset.

Kiinnitysliitos kytkee rinnakkain liitettävät rakenneosat. Esimerkki kiinnitysliitoksesta on I-palkin laipan ja uuman välinen hitsi. Kiinnitysliitosta ei yleensä mitoiteta tasalujaksi liitettävien osien kanssa, vaan ulkoisen leikkausvoiman tai rakenteen leikkauskestävyyden mukaan.

Sideliitokset sitovat rinnakkaiset osat toisiinsa estäen esimerkiksi rakenteen nurjahtamista. Sideliitokseen kohdistuu rakenteen alkutaipumasta tai stabiiliuden menetyksestä aiheutuvia kuormia.

Varusteluliitokset ovat esimerkiksi kantaviin rakenteisiin hitsattavien putkien, kaapeleiden ja kaiteiden kiinnikkeet. Varusteluliitoksiin ei kohdistu juurikaan kuormitusta, mutta niiden suunnitteluun on erityisesti kiinnitettävä huomiota väsyttävästi kuormitetuissa rakenteissa. [56]



Kuva 5. Esimerkit liitostyypeistä: 1.Varusteluliitos 2.Kiinnitysliitos 3.Sideliitos 4.Voimaliitos [57]

3.2.7 Ruuvikokoonpanojen tarkastus

Standardin SFS-EN 1090-2 mukaan kaikki esijännittämättömät ruuvikokonpanot tulee tarkastaa silmämääräisesti sen jälkeen, kun ruuvit on asennettu. Esijännittämättömille ruuvikokoonpanoille standardi ei määrittele muita tarkastuksia silmämääräisen tarkastuksen lisäksi. [14]

Esijännitetyille ruuviliitoksille tarkastuslaajuus ja tarkastustoimenpiteet ovat määritelty hyvin yksityiskohtaisesti. Tarkastustoimenpiteet on jaoteltu seuraavasti:

- Kitkapintojen tarkastus
- Tarkastus ennen kiristämistä
- Kiristämisen aikana ja sen jälkeen tehtävät tarkastukset

Esijännitettyjen ruuviliitosten tarkastuslaajuus määräytyy toteutusluokan mukaan, samalla tavalla kuin hitsattujen liitosten tarkastuslaajuus. Toteutusluokassa EXC2 5% ruuvikokoonpanoista tulee tarkastaa kiristyksen toisessa vaiheessa. Toteutusluokissa EXC3 ja

EXC4 tarkastus tehdään yhdessä tai kahdessa vaiheessa riippuen käytettävästä tarkastusmenetelmästä. [14]

3.2.8 Materiaalit

SFS-EN 1090 mukaisten teräsrakenteiden valmistuksessa tulee lähtökohtaisesti käyttää standardissa lueteltujen eurooppalaisten standardien mukaisia materiaaleja. Esimerkiksi kuumavalssatut rakenneteräkset tulee olla standardin SFS-EN 10025 soveltuvan osan mukaiset. Käytettävät tuotteet, jotka ovat yhdenmukaistetun standardin mukaisia, tulee toimittaa CE-merkittynä ja niistä tulee löytyä ainestodistukset standardin vaatimusten mukaisesti. Jos käytetään muita materiaaleja, pitää niiden ominaisuudet esittää toteutuseritelmässä. Ominaisuudet, jotka tulee ilmoittaa, on esitetty SFS-EN 1090-2 kohdassa 5.1. Esitettäviä ominaisuuksia ovat esimerkiksi lujuus, venymä ja mittojen ja muotojen toleranssit. [14]

Materiaalin jäljitettävyysvaatimus riippuu käytettävästä toteutusluokasta. Toteutusluokissa EXC3 ja EXC4 rakennustuotteessa käytetty materiaalien tulee olla jäljitettävissä aina vastaanotosta valmiin rakenteen luovutukseen. [14]

3.2.9 Asentaminen

Standardin SFS-EN 1090-2 luvussa 9 on esitetty vaatimukset teräsrakenteiden asentamiselle työmaalla. Työmaatoiminnot eivät lähtökohtaisesti kuulu standardin SFS-EN 1090-1 eikä CE- merkinnän piiriin, joten harmonisoidun tuotestandardin noudattaminen ei ole pakollista.

Standardin SFS-EN 1090-2 noudattaminen työmaalla on kuitenkin suositeltavaa ja monesti tilauksissa ja sopimuksissa määritellään näin tehtävän. Tekniset vaatimukset työmaalla tapahtuvalle esivalmistukselle, hitsaukselle, mekaaniselle liittämiselle ja pintakäsittelylle ovat samat kuin konepajalla tapahtuvalle valmistukselle. Myös teräsrakenteiden tarkastamiselle on samat vaatimukset työmaalla ja konepajalla. [14]

Asentamiseen liittyen standardissa on myös esitetty vaatimuksia ja ohjeita olosuhteiden huomioimiselle, asennusmenetelmille, mittauksille sekä yleisesti työskentelyyn työmaalla.

Olosuhteissa on otettava huomioon varsinkin turvallisuuteen liittyviä asioita, esimerkiksi ympäristö- ja ilmasto-olosuhteiden vaikutus työskentelyyn sekä maaperän kantavuus. [14]

Asennusmenetelmissä on tuotu myös turvallisuusnäkökulma vahvasti esille. Huomioitavia asioita ovat esimerkiksi asennusjärjestys, rakenteen väliaikainen tuenta sekä nostamiseen liittyvät asiat, kuten osien koko, paino ja painopiste. Asennuksista pitää tehdä asennussuunnitelma, joka sisältää tiedot asennuksessa käytettävistä menetelmistä huomioiden turvallisuutta koskevat vaatimukset. [14]

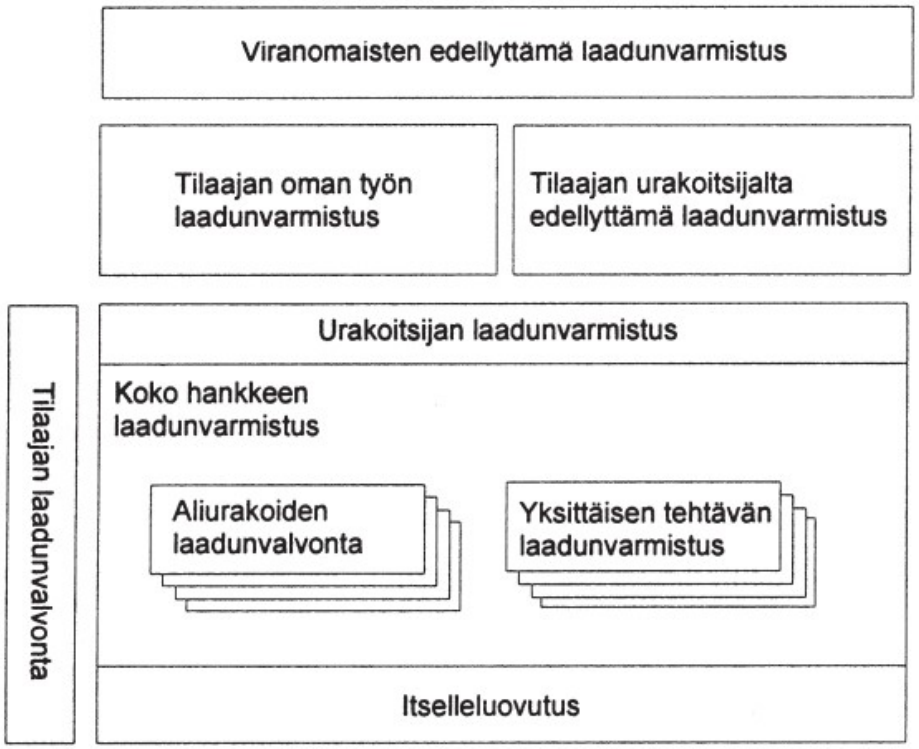
Standardi esittää minivaatimukset asennuspiirustusten sisällölle. Piirustusten tulee sisältää kaikki tiedot, joilla teräsrakenne voidaan asentaa määräysten mukaisesti. Myös henkilöturvallisuuteen liittyvät asiat, kuten mahdolliset tilapäiset tuet ja niihin liittyvät yksityiskohdat tulee esittää piirustuksissa. Asentamiseen liittyen painotetaan huomiomaan rakenteen stabiilius koko asennustyön ajan. Myös sovitukseen ja linjaukseen annetaan yksityiskohtaisia ohjeita, joilla pyritään välttämään rakenteen muodonmuutoksia asennuksen aikana. [14]

3.2.10 Dokumentointi

Valmistajan tulee dokumentoida työ standardin ja spesifikaatioiden mukaisesti. SFS-EN 1090-2 kappaleessa 4.2 on määritelty, mitkä asiat tulee olla merkittynä asiakirjoihin. Toteutukseen liittyen valmistajan tulee laatia riittävät asiakirjat, joilla voidaan osoittaa, että teräsrakenne on valmistettu toteutuseritelmän mukaisesti. [14]

4 LAADUNVALVONNAN TYÖKALUT

Seuraavassa luvussa perehdytään rakennushankkeen laadunvalvontaan. Kappaleessa käydään läpi niitä keinoja, mitä viranomaisilla, rakennuttajalla ja tilaajalla on toimitusten ja työsuoritusten laadun varmistamiseksi. Rakennushankkeen laadunvarmistus koostuu monesta eri tekijästä. Juha-Matti Junnonen on artikkelissaan kuvannut eri tahojen toimenpiteet, joilla varmistetaan rakennushankkeen laadukas toteutus. Kuvassa 6 on esitetty osatekijät työmaan laadunvarmistukseen. Laadunvarmistus on jaettu viranomaisten, tilaajan ja urakoitsijan tehtäviin ja vastuisiin. [35]



Kuva 6. Rakennushankkeen laadunvarmistus [35]

4.1 Toimitusvalvonta

Toimitusvalvonnan lähtökohtana on varmistaa se, että tilattu tuote tai palvelu täyttää tilauksessa määritellyt vaatimukset. Toimitusvalvonnan tehtäviin kuuluu valvoa esimerkiksi seuraavia asioita: aikataulua, laatua, budjettia, sopimusmuutoksia, muutoksia toimituslaajuudessa ja teknisiä muutoksia. [36]

Laatupuolen valvonta on tärkeä osa toimitusvalvontaa. Laatuongelmat johtavat monesti kustannusten kasvamiseen ja aikataulumuutoksiin. Jos tilattu tuote on monimutkainen ja vaatii standardien ja määräysten noudattamista, on toimittajien laatuauditoinnit ja toimittajan luona tehtävät tarkastuskäynnit tilaajalle kannattava ja hyödyllinen tapa varmistaa tuotteen laatu. Myös Willoughby painottaa toimittajakäyntien tärkeyttä artikkelissaan. Käynneillä voidaan varmistaa toimittajan kyky suoriutua velvoitteistaan. [36][37][38]

Toimitusvalvonnan tarpeellisuuteen vaikuttaa vahvasti se, miten aiemmin tehty yhteistyö on onnistunut. Lisäksi se, kuinka hyvin tilaaja tuntee toimittajan, sen toimintatavat ja

osaamisen, ovat tärkeitä asioita. Uusien toimittajien kanssa on syytä panostaa enemmän valvontaan, jolla varmistetaan toimituksen laatu ja aikataulussa pysyminen. Toimitussuhteesta riippuen valvonnan luonne voi myös olla erilainen. Jos toimittajan kanssa tehdään ainoastaan kertaluontoisia tilauksia, toimitusvalvonnan kannattaa keskittyä siihen, että toimitukseen liittyvät vaatimukset täyttyvät. Pidempiaikaisissa toimittajasuhteissa tilaajan kannattaa panostaa toimitusvalvonnassa myös muihin asioihin kuin perusvaatimusten täyttymiseen yksittäisen toimituksen osalta. Pidempiaikaisessa toimitussuhteessa voi seurata sitä, miten toimittaja suhtautuu ongelmiin ja muutoksiin sekä miten niitä pyritään ratkomaan. Seurattavia asioita ovat myös ne, miten toimittaja pyrkii parantamaan laatua ja palvelun tasoa, onko toimittajalla halua parantaa yhteisiä prosesseja sekä pyrkiikö toimittaja alentamaan kustannustasoa yhteistyön kehittymisen myötä. Taulukossa 15 on esitetty toimittajasuhteen vaikutus toimitusvalvonnan luonteeseen. [39]

Taulukko 15. Toimittajasuhteen vaikutus toimitusvalvontaan [39]

Toimittajasuhteen laatu	**Toimitusvalvonnan keskeiset tehtävät ja tavoitteet**
Yksinkertaiset ja kertaluonteiset toimittajasuhteet	Perustavoitteiden täyttyminen. Toimittajan palveluhalu, viestintä ja asenne tilaajaan.
Pitempiaikaiset toimittajasuhteet	Toimittajan suhtautuminen ongelmiin, sekä kyky ja halu ratkaista niitä. Toimittajan pyrkimys jatkuvasti parantaa palvelun tasoa.
Pitkäaikainen toimittajasuhde, jonka tavoitteena on kehittää ja tehostaa toimintaa	Toimittajan pyrkimys jatkuvasti alentaa kustannuksia. Toimittajan halu kehittää yhteisiä toimintatapoja.
Pitkäaikainen toimittajasuhde, joka sisältää tuotekehitystä, suunnittelua ja innovaatioita	Toimittajan pyrkimys yhteisiin innovaatioihin ja resurssien kehittämiseen.

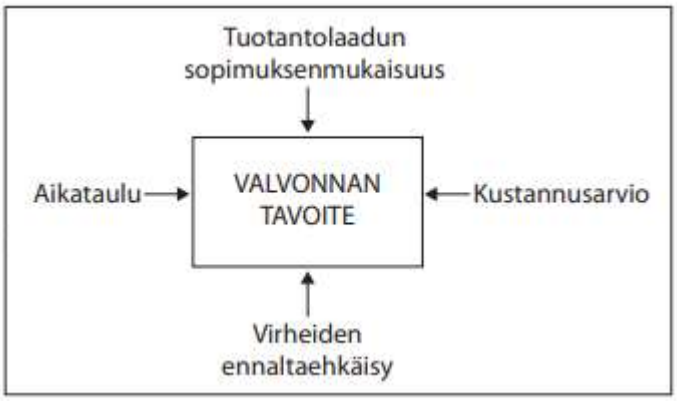
Valvonnan ajankohdalla on myös suuri merkitys toimituksen onnistumiseen ja valvonnan kustannuksiin. Jos toimitusvalvontaa tehdään vasta toimituksen myöhäisissä vaiheissa, on

todennäköisempää, että toimitusvalvonnan kustannukset ovat suurempia ja toimittaja pysyy heikommin luvatussa aikataulussa. [40]

Toimitusvalvonnan tärkeys korostuu suurissa projekteissa, joissa jokainen yksittäinen tilaus vaikuttaa projektin läpiviemiseen. Parantamalla toimitusvalvontaa parannetaan koko projektin hallintaa. [38]

4.2 Työmaavalvonta

Juha-Matti Junnonen kuvailee työmaavalvontaa artikkelissaan Työmaavalvojan vastuut ja tehtävät. Työmaavalvonnan tärkeimmät tehtävät ja tavoitteet ovat varmistaa toimituksen laadun vastaavan sopimusta, virheiden ja ongelmien ennaltaehkäisy sekä työn valmistuminen sovitussa aikataulussa ja budjetissa. Tärkeimpänä Junnonen pitää laadullisten tavoitteiden täyttämistä. [42] Kuvassa 7 on esitetty työmaavalvonnan tavoitteet.



Kuva 7. Valvonnan tavoite [42]

Valvojan tehtävä on neuvoa ja antaa ohjeita asennuksista vastaaville henkilöille, mutta myös tarvittaessa asennustyötä tekeville henkilökohtaisesti. Valvojan työ on hyvin pitkälle yhteistyötä eri tahojen kanssa. [42]

4.3 Henkilöpätevyydet

Rakennusluvan varaisissa rakennustöissä maankäyttö- ja rakennuslaki edellyttää vastaavan työnjohtajan nimeämistä. Vastaava työnjohtaja vastaa rakennustyöstä kokonaisuudessaan.

Vastaavan työnjohtajan vastuulle kuuluu varmistaa, että rakentaminen tehdään rakennusluvassa määrättyjen ehtojen mukaisesti sekä siitä, että rakentamiseen liittyvä säädöksiä ja määräyksiä noudatetaan. [43]

Rakennusluvassa voidaan edellyttää myös vastaavan työnjohtajan lisäksi erityisalojen työnjohtajien nimeämistä. Tyypillisesti rakennushankkeissa vaaditaan erityisalan työnjohtajat vesi- ja viemärilaitteiston sekä ilmanvaihtolaitteiston rakentamiseen. [43]

Rakennusvalvontaviranomainen voi myös määritellä muiden erityisalojen työnjohtajien nimeämistä, jos rakennustyö on vaativa. Erityisalan työnjohtaja vastaa siitä, että oman erityisalan työt tehdään rakennusluvan, säädösten, määräysten ja hyvän rakennustavan mukaisesti. [43]

Rakennustyön työnjohtotehtävät jaetaan eri vaativuusluokkiin. Vaativuusluokat määräytyvät rakennuskohteen mukaan. Vaativuusluokkaan vaikuttavat tekijät ovat esimerkiksi rakennuksen käyttötarkoitus, rakennuksen koko, rakennuksen kuormitukset, rakennuspaikasta johtuvat erityispiirteet, rakentamisessa käytettävät menetelmät ja kantavien rakenteiden vaativuus. Vaativuusluokat ovat poikkeuksellisen vaativa työnjohtotehtävä, vaativa työnjohtotehtävä, tavanomainen työnjohtotehtävä sekä vähäinen työnjohtotehtävä. Erityisalojen työnjohtajan vaativuusluokka on yleensä vähintään tavanomainen, koska yksinkertaiseen tai pieneen rakennustyöhön ei tarvita erityisalan työnjohtajaa. [43][44]

Maankäyttö- ja rakennuslaki määrittelee myös kelpoisuusvaatimukset erityisalan työnjohtajille. Kelpoisuusvaatimukset perustuvat kokemukseen ja koulutukseen. Taulukossa 16 on esitetty vastaavan työnjohtajan kelpoisuusvaatimukset vaativuusluokittain. [44]

Taulukko 16. Vastaavan työnjohtajan kelpoisuusvaatimukset [44]

Vastaavan työnjohtajan kelpoisuus			
Vähäinen työnjohtotehtävä	***Tavanomainen työnjohtotehtävä***	***Vaativa työnjohtotehtävä***	***Poikkeuksellisen vaativa työnjohtotehtävä***
Riittävä osaaminen asianomaiseen työnjohtotehtävään.	Suorittanut tehtävään soveltuvan rakentamisen tai tekniikan alan tutkinnon: rakennusmestari (AMK) -tutkinto, insinööri (AMK) -tutkinto taikka kyseiseen työnjohtotehtävään soveltuva aiempi rakennusinsinöörin tutkinto, tai teknikon (rakennusmestarin) tutkinto, taikka muu korkeampi rakentamisen tai tekniikan alan tutkinto ja tutkintoon tai sitä täydentäviin opintoihin on sisältynyt riittävät kyseistä työnjohtotehtävää käsitteleväät opintosuoritukset, joiden yhteismäärä yleensä vähintään 50 op 1), taikka on hankkinut muuten osoitetut vastaavat tiedot sekä on hankkinut riittävän kokemuksen rakennusalalla rakennuskohteen laatu ja tehtävän vaativuus huomioon ottaen. **Korjaus- ja muutostyön** tavanomaisessa työnjohtotehtävässä edellytyksenä on, että kokemus rakennusalalla sisältää myös korjaus- ja muutostöitä.	Suorittanut tehtävään soveltuvan rakentamisen tai tekniikan alan tutkinnon: rakennusmestari (AMK) -tutkinto, insinööri (AMK) -tutkinto taikka kyseiseen työnjohtotehtävään soveltuva aiempi rakennusinsinöörin tutkinto, tai teknikon (rakennusmestarin) tutkinto, taikka muu korkeampi rakentamisen tai tekniikan alan tutkinto ja tutkintoon tai sitä täydentäviin opintoihin on sisältynyt riittävät kyseistä työnjohtotehtävää käsitteleväät opintosuoritukset, joiden yhteismäärä yleensä vähintään 60 op 1), sekä on hankkinut riittävän kokemuksen ja perehtyneisyyden kyseisen alan työnjohtotehtävissä rakennuskohteen laatu ja tehtävän vaativuus huomioon ottaen. **Korjaus- ja muutostyön** vaativassa työnjohtotehtävässä edellytyksenä on, että on suorittanut opintoja myös korjausrakentamisesta ja että kokemus sisältää toimimista myös korjaus- ja muutostöiden työnjohtajana.	Suorittanut tehtävään soveltuvan rakentamisen tai tekniikan alan tutkinnon: rakennusmestari (AMK) -tutkinto, insinööri (AMK) -tutkinto taikka kyseiseen työnjohtotehtävään soveltuva aiempi rakennusinsinöörin tutkinto, taikka muu korkeampi rakentamisen tai tekniikan alan tutkinto ja tutkintoon tai sitä täydentäviin opintoihin on sisältynyt riittävät kyseistä työnjohtotehtävää käsitteleväät opintosuoritukset, joiden yhteismäärä yleensä vähintään 70 op 1), sekä on hankkinut riittävän kokemuksen ja hyvän perehtyneisyyden kyseisen alan vaativista työnjohtotehtävistä. **Korjaus- ja muutostyön** poikkeuksellisen vaativassa työnjohtotehtävässä edellytyksenä on, että on suorittanut opintoja myös korjausrakentamisesta ja että kokemus sisältää toimimista myös vaativien korjaus- ja muutostöiden työnjohtajana.

Terärakenteiden osalta on olemassa maankäyttö- ja rakennuslakiin perustuva erityisalan työnjohtajan pätevyysvaatimus, teräsrakenteiden asennustyönjohtajan pätevyys. Teräsrakenteiden asennustyöjohtajan pätevyys on jaettu maankäyttö- ja rakennuslain mukaisiin erityisalan työnjohtajan pätevyystasoihin; tavanomainen, vaativa poikkeuksellisen vaativa. Erityisalan työnjohtajan kelpoisuudet ovat samat kuin taulukossa 16 esitetyt vastaavan työnjohtajan kelpoisuusvaatimukset. Rakennusvalvontaviranomainen hyväksyy erityisalan työnjohtajan rakennushankkeeseen hakemuksen perusteella, jos hän täyttää maankäyttö- ja rakennuslaissa esitetyt kelpoisuusvaatimukset.

Kelpoisuusvaatimuksen voi myös todentaa hankkimalla todistuksen pätevyydestä. FISE Oy tarjoaa henkilöpätevöintejä, mukaan lukien teräsrakenteiden asennustyöjohtajan pätevöinnin. FISE Oy on rakennusalan henkilöpätevyyksiä myöntävä ja kehittävä voittoa tavoittelematon yritys. Henkilöpätevyyspalvelun tavoite on parantaa rakentamisen laatua. Henkilöpätevyyksien sertifioinnista hyötyy pätevyyden haltijat, työnantajat, tilaajat sekä rakennusvalvontaviranomaiset. Viranomaisia sertifioitu henkilöpätevyys helpottaa ja nopeuttaa esimerkiksi työnjohtajien kelpoisuusarviointia. [43][44][45]

FISE Oy tarjoaa myös tarvelähtöisiä henkilöpätevöintejä. Tarvelähtöiset pätevyydet on perustettu vastaamaan kasvaviin laatuvaatimuksiin erityisosaamista vaativilla aloilla. Teräsrakenteiden osalta on olemassa tarvelähtöinen pätevyys, teräsrakennetehtaan työnjohtajan pätevyys. Pätevyydellä on tarkoitus varmistaa rakennustuoteasetuksen mukaan CE-merkinnän piirissä olevien teräsrakenteiden laadukas valmistaminen.

Teräsrakennetehtaan työnjohtaja pätevyys on jaettu kahteen pätevyysluokkaan, valmistusluokka 1 ja valmistusluokka 2. Valmistusluokan 1 pätevyys kattaa toteutusluokkien EXC1 ja EXC2 mukaisten teräsrakenteiden valmistuksen. Valmistusluokan 2 mukainen pätevyys tarvitaan toteutusluokkien EXC3 ja EXC4 mukaisille teräsrakenteille. Pätevyysluokat ja pätevöintiin liittyvät kelpoisuudet on määritelty alan keskeisten asiantuntijoiden kanssa. [45]

4.4 Laatusuunnitelma

Standardin SFS-EN 1090-2 kappaleessa 4.2.2 on esitetty vaatimukset laatusuunnitelman sisällölle. Standardin liitteessä C on tarkastuslista laatusuunnitelman sisältöä varten. Tarkastuslistassa on yksityiskohtaisesti esitetty laatusuunnitelmassa vaaditut asiakirjat sekä kuvailtu niiden sisältöä. Laatusuunnitelman tekeminen ei ole pakollista, vaan vaade laatusuunnitelmasta tulisi esittää toteutuseritelmässä. [14]

Ympäristöministeriön asetuksessa kantavista terärakenteista esitetään vaatimus laatusuunnitelman tekemiselle, jos rakennuksen tai rakenteen mahdollisen vaurion tai vikaantumisen aiheuttamat seuraamukset ovat vakavia tai keskisuuria. Jos rakenteen seuraamusluokka on määritelty CC2:ksi tai CC3:ksi, on laatusuunnitelma laadittava. [22]

Laatusuunnitelman tekemistä varten hEN Helpdesk- sivustolla on saatavilla malliasiakirja. Malliasiakirja käsittää kaikki kantavat rakenteet. Teräsrakenteille on oma välilehti, jossa on standardiin SFS-EN 1090-2 sekä teräsrakenneyhdistyksen ohjeisiin perustuvat listaukset tarkastuskohteista, raja-arvoista, tarkastuksien määristä sekä ohjeet siitä, miten asiat tulee dokumentoida. [46]

5 NESTE ENGINEERING SOLUTIONS – TERÄSRAKENTEIDEN SUUNNITTELU JA TOTEUTUS

Tässä työssä käsitellään projekteja, joissa teräsrakenteiden suunnittelu tehdään Neste Engineering Solutions toimesta. Tämä tarkoittaa, että teräsrakenteet noudattavat CE-merkinnässä standardin SFS-EN 1090-1 mukaista käytäntöä 3a, jossa ostaja toimittaa kokoonpanoeritelmän, PPCS. (Purchaser Provided Component Specification). Tilaaja antaa kokoonpanon rakenteellista suunnittelua koskevat laskelmat ja tiedot valmistajalle. Valmistaja valmistaa teräsrakenteet suunnitelmien mukaan ja viittaa suunnitelmiin suoritustasoilmoituksessaan ja CE-merkinnässä.

Nesteellä on omat spesifikaatiot, jotka ohjaavat teräsrakenteiden suunnittelua, valmistusta ja asennusta. Teräsrakennespesifikaatio J101 antaa lähtöarvoja ja tyyppikuvia suunnittelulle, joiden mukaan teräsrakenteet tulee suunnitella. Spesifikaatio viittaa vahvasti standardisarjaan SFS- EN1090. [47]

J101 antaa suunnittelijalle ohjeet, joiden mukaan teräsrakenteet tulee mitoittaa. Rakennelaskelmien lähtökohtana käytetään EN1993-1 osia 1-12. Laskelmat tehdään kuormituksilla, jotka määritellään EN 1991-1 tai todellisen kuormitustilanteen mukaan. [47]

5.1 Suunnittelu

Neste Engineering Solutions teräsrakennesuunnittelun toiminta on kuvattu yhtiön sisäisessä ohjeessa CP187. Ohjeessa on kuvattu suunnitteluorganisaation vastuut ja tehtävät.

Suunnittelun lähtötietoina käytetään projektissa määriteltyjä tarpeita sekä muilta suunnittelualoilta saatuja tietoja. Esimerkiksi putkistojen kannakerakenteiden suunnittelua varten putkistosuunnittelu antaa kuormitukset jokaiselle kannaketta vaativalle pisteelle. Putkisto-/layout- suunnittelu määrittelee myös tarpeet erilaisille kulkutasoille ja portaille. Näiden mitoituksessa käytetään standardissa EN 1991-1 määriteltyjä kuormia. [47][48]

Suunnittelu mallintaa teräsrakenteet käyttäen Tekla Structures- suunnitteluohjelmaa. Rakenteiden lujuustarkastelut tehdään lähtökohtaisesti Robot structural analysis- ohjelmalla. [48]

Teräsrakennesuunnittelu tuottaa rakenteista minimissään seuraavat dokumentit:

- Työmäärittely
- Yleis- ja asennuspiirustus
- Kokoonpanoluettelo ja kokoonpanopiirustukset
- Osaluettelo ja osapiirustukset
- Materiaaliluettelo
- Kiinnikeluettelo
- Laskentaraportti

5.1.1 Työmäärittely

Työmäärittely sisältää tiedot rakennuskohteesta ja työhön liittyvistä suunnitelmista ja noudatettavista määräyksistä, standardeista ja spesifikaatioista. Työmäärittelyssä on myös kirjattu mahdollisia projektikohtaisia lisävaatimuksia, jotka poikkeavat standardin vaatimuksista. Työmäärittely on päädokumentti, jonka liitteenä on muut suunnittelun tuottamat asiakirjat, kuten tekniset piirustukset ja luettelot.

Työmäärittelyssä on määritelty, että teräsrakenteet tulee olla CE-merkittyjä SFS-EN 1090-1 ja sen viitestandardien mukaisesti. Valmistajan tulee olla ilmoitetun laitoksen hyväksymä CE- merkinnän mukaiseen tuotantoon suunnittelun määrittelemässä toteutusluokassa. [48][49]

5.1.2 Yleis- ja asennuspiirustus

Yleis- ja asennuspiirustuksissa on esitetty teräsrakenne kokonaisuudessaan, sen sijainti sekä kokoonpanojen sijainti rakenteessa. Asennuspiirustuksiin lukeutuvat taso- ja linjapiirustukset, asennusdetaljit, asennusleikkaukset, aksonometriset piirustukset, perusruuvien sijaintipiirustukset ja ritiläkaaviot.

Taso- ja linjapiirustuksissa esitetään rakenteen sijainti ja kiinnitystiedot siten, että rakenteet voidaan asentaa oikein. Tarvittaessa esitetään myös asennusjärjestys, aputuennat ja mahdolliset myöhemmin asennettavat alueet. Asennusdetaljeissa ja -leikkauksissa esitetään rakenteellisia yksityiskohtia ja täydennetään taso- ja linjapiirustusten sisältöä.

Asennuspiirustuksessa esitetään eri kokoonpanojen väliset liitokset. Ruuviliitoksien osalta, asennuspiirustukissa on esitetty käytättävät kiinnikkeet, niiden määrä ja sijainti. Hitsaamalla yhdistettävien kokoonpanojen osalta asennuspiirustuksessa tulee olla tarvittavat tiedot hitsistä ja siihen liittyvistä tarkastuksista. Asennuspiirutsuksessa on myös viittaukset liittyviin piirustuksiin ja luetteloihin.

Aksonometrisiä piirustuksia käytetään havainnollistamaan kokonaisuutta sekä helpottamaan asennussuunnitelman tekoa.

Perusruuvien sijaintipiirustuksissa esitetään perusruuvien mittatiedot ja sijainti sekä sijaintiin liittyvät toleranssit.

Ritiläkaavioissa esitetään ritilätason päämitat, palkkien sijainti, ritilän kantosuunta, aukkojen mitoitus ja tasoreunojen ja kiinnitysten detaljit ritilävalmistajan laatimia ritilöiden leikkauspiirustuksia varten. [48][49]

5.1.3 Kokoonpanoluettelo ja kokoonpanopiirustukset

Kokoonpanopiirustuksissa on esitetty konepajalla valmistettavat ja koottavat kokoonpanot. Piirustuksissa esitetään profiiliaihioiden ja levyjen keskinäinen asema ja liittäminen toisiinsa. Kokoonpanopiirustuksista löytyy osaluettelot, joissa on lueteltu kaikki kokoonpanoon kuuluvat osat. Hitsaukseen liittyvät tiedot on myös esitetty kokoonpanopiirustuksissa,

esimerkiksi hitsiluokka, hitsien koot, hitsien tyyppi ja railomuodot. Kokoonpanopiirustuksissa esitetään myös tiedot pintakäsittelystä sekä esikäsittelyasteesta. Kokoonpanoluettelo on yhteenveto kaikista projektin kokoonpanopiirustuksista, piirustustunnus ja revisio esitettynä. [48][49]

5.1.4 Osaluettelo ja osapiirustukset

Osapiirustuksissa on esitetty jokaisen yksittäisen osan valmistukseen tarvittavat tiedot. Näitä ovat osaan käytettävä materiaali, muodot, mitat, reikätiedot, loveukset ja tieto montako kyseistä osaa tulee valmistaa. Piirustuksessa on myös viittaus, mihin kokoonpanoon kyseinen osa liittyy. Osaluettelossa on yhteenveto osapiirustuksista. Siinä on lueteltu kaikki projektin osapiirustukset ja niissä käytettävät materiaalit. [48][49]

5.1.5 Materiaaliluettelo

Materiaaliluettelossa on summattu kaikki projektissa tarvittavat teräsmateriaalit, materiaalien muoto ja lujuusluokka. Luettelossa on esitetty jokaisen nimikkeen yhteenlaskettu määrä. Materiaaliluettelo toimii hyvänä pohjana kustannuslaskentaa varten sekä materiaalien tilaamista varten. [48][49]

5.1.6 Kiinnikeluettelo

Kiinnikeluettelossa on vastaavasti kuin materiaaliluettelossa listattu kaikki projektissa tarvittavat kiinnikkeet ja niiden yhteenlaskettu määrä. Nimikkeen lisäksi luettelossa on esitetty kiinnikkeen koko, materiaali, standardi, lujuusluokka, pintakäsittely sekä mahdollisesti tarvittavat lisätiedot tilaamista varten. [48][49]

5.1.7 Laskentaraportti

Suunnittelu tuottaa myös laskentaraportin, joka sisältää rakenteelle tehdyt mitoituslaskelmat lähtötiedoissa määriteltyjen kuormitustilanteiden mukaisesti. Laskelmien tulee sisältää vähintään seuraavat asiat: [48][49]

- rakennemallit
- rakenteiden mitat ja ainetiedot
- kuormitusselostus
- laskenta- ja mitoitusmenetelmät

- lasketut voimasuureet
- murtorajatilatarkastelut
- käyttörajatilatarkastelut
- tulosten arviointi

5.1.8 Työmäärittelyssä esitettyjä lisävaatimuksia

NES suunnittelu käyttää työmäärittelypohjia, joissa on oletusarvoisesti esitetty tiettyjä lisävaatimuksia verrattuna standardiin SFS-EN 1090-2. Työmäärittelyssä on oletusarvoisesti määritelty toteutusluokaksi EXC2.

Pintakäsittelyyn liittyen teräsrakenteissa noudatetaan Nesteen omaa pintakäsittelyspesifikaatiota L103. Teräsrakenteiden kokoonpanokuvissa on määritelty L103 mukainen pintakäsittelymenetelmä ja käytettävä maalausyhdistelmä. L103 kertoo yksityiskohtaisesti pintakäsittelymenetelmiin liittyvät vaatimukset, esimerkiksi SFS-EN ISO 12944-2 mukaisen rasitusluokan, SFS-EN ISO 8501-3 mukaisen terästyön laatuasteen, SFS-EN ISO 8501-1 mukaisen esikäsittelyasteen, käytettävät pohjamaalit, pintamaalit sekä kalvonpaksuudet jokaiselle maalikerrokselle. Teräsrakenteissa yleisesti käytettävä maalausyhdistelmä määrittelee rasitusluokaksi C4, terästyön laatuasteeksi P2 ja esikäsittelyasteeksi Sa 2 ½. Pohjamaalina käytetään epoksimaalia ja kalvonpaksuus tulee olla 100 µm. Pintamaalina käytetään polyuretaanimaalia, jonka kalvonpaksuus tulee olla 60 µm. Pintamaalin sävy määritellään kokoonpanokuvassa. [50][51]

Pulttiliitoksia koskee myös lisävaatimus. Työmäärittelyssä on oletusarvoisesti mainittu, että kaikkien ruuviliitosten varmistus on tehtävä rikkomalla ruuvin kierteet välittömästi mutterin takaa. Standardi SFS- EN 1090-2 ohjeistaa kohdassa 8.2 seuraavaa: ”Jos mutterein varmistamiseksi edellytetään käytettäväksi kiristämisen lisäksi muita toimenpiteitä tai välineitä, se tulee esittää erikseen.”

Aluslevyjen käyttö esijännittämättömissä ruuvikokoonpanoissa ei ole standardin mukaan pakollista, asia tulee erikseen määritellä toteutuseritelmässä. Työmäärittelyssä ei ole mainintaa aluslevyjen käytöstä, mutta teräsrakennespesifikaatio J101 esittää vaatimuksen aluslevyn käytöstä kiertyvän osan alla myös esijännittämättömissä ruuvikiinnityksissä. [14][47][51]

Jos työmaalla teräsrakenteen asennuksessa ilmenee sovitusvirheitä ruuviliitoksissa, standardin SFS-EN 1090-2 mukaan reikiä tulee lähtökohtaisesti suurentaa avartamalla tai käyttämällä jyrsivää leikkauslaitetta. Standardi ei kiellä muiden leikkausmenetelmien käyttöä reiän suurentamisessa sillä edellytyksellä, että reikien sisäpinnat viimeistellään ja tarkastetaan vaatimusten mukaisesti. Spesifikaatio J101 kuitenkin kieltää reikien suurentamisen polttoleikkaamalla. [14][47]

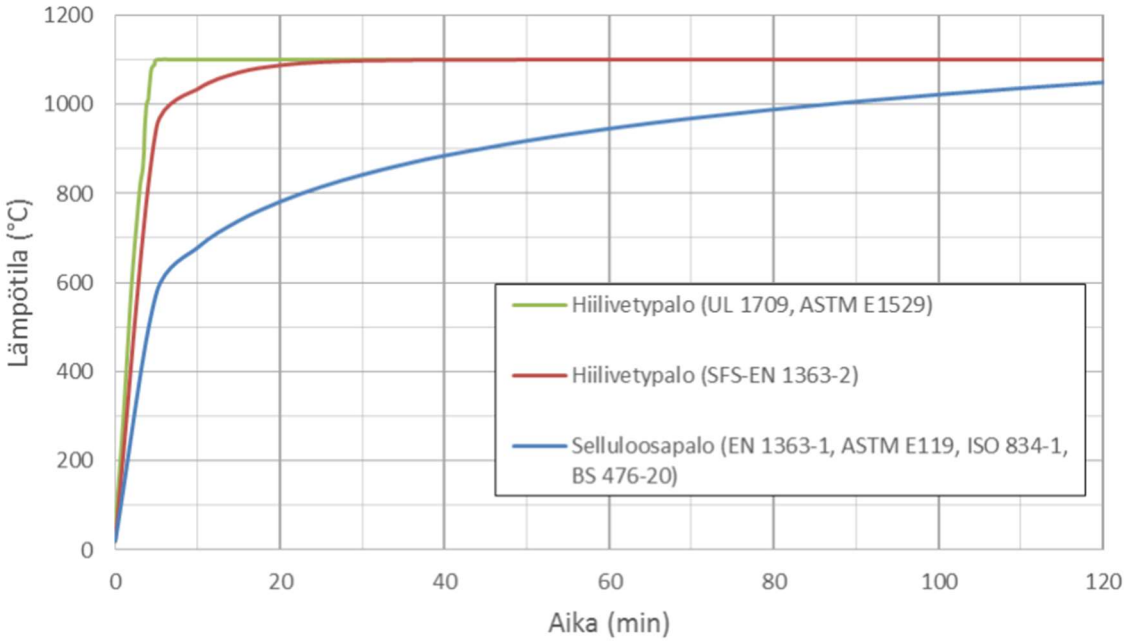
Toleranssien kohdalla työmäärittelyssä viitataan standardin SFS-EN 1090-2 liitteeseen B, jossa standardin mukaiset valmistus- ja asennustoleranssit on määritelty. Standardissa on kaksi eri toleranssiluokkaa toiminnallisille toleransseille, luokat 1 ja 2. Toleranssiluokka 1 on sallivampi ja sitä tulee käyttää, jos muuta ei erikseen määrätä. Työmäärittelyssä todetaan, että vakiotoleranssiluokkia tulee noudattaa ja mahdolliset lisävaatimukset esitetään osakokoonpano- ja asennuspiirustuksissa. Valmiin työn dokumentoinnin osalta työmäärittelyssä esitetyt vaatimukset ovat laajemmat verrattuna standardin vaatimuksiin. [50]

Tyypillinen luettelo vaadituista asiakirjoista: [50]
1 Projektiorganisaatio
2 Laatu- ja valmistussuunnitelma
3 Hitsaussuunnitelma
4 Tarkastussuunnitelma
5 Asennussuunnitelma
6 Työnjohdon ja hitsaajien pätevyydet
7 NDT-tarkastajien pätevöintitodistukset
8 NDT-tarkastusten pöytäkirja
9 Ainestodistukset, teräs
10 Ainestodistukset, hitsausaineet
11 Asennushitsien tarkastuspöytäkirja
12 Pintakäsittelyn tarkastuspöytäkirja
13 Ruuvien ja muttereiden ainestodistukset
14 Pulttiliitosten tarkastuspöytäkirja
15 Rungon tarkemittauspöytäkirja

5.1.9 Teräsrakenteiden palosuojaus

Palosuojapinnoitteiden käyttö on yleistynyt huomattavasti viimeisten vuosien aikana prosessiteollisuuteen valmistettavissa kantavissa teräsrakenteissa. Käytettävät palosuojapinnoitteet määritellään aina projektikohtaisesti. [49][50][51]

Palosuojauksien suunnittelua ja toteutus tehdään Neste Engineering Solutionin toteuttamissa projekteissa spesifikaation L104 mukaan. Spesifikaatio käsittää passiiviset palosuojausjärjestelmät, jotka suojaavat prosessilaitteita, kantavia rakenteita sekä turvallisuuskriittisiä laitteistoja tulipalotilanteessa määrätyn ajan. Spesifikaatio perustuu standardiin API2218 - Fireproofing Practices in Petroleum and Petrochemical Processing plants. API2218 on keskeinen ohje öljynjalostusteollisuudessa käytettäville passiivisille palosuojauksille. Palosuojattavat kohteet määritellään riskikartoituksissa. Kantavat rakenteet, jotka suunnitellaan palovaralliselle alueelle, on palosuojattava, jos niiden sortuminen tulipalotilanteessa aiheuttaa onnettomuuden laajentumista tai vaarantaa sammutus- ja pelastustoimia. Merkittävästi palavaa ainetta sisältävien laitteiden ja putkistojen kantavat rakenteet on palosuojattava. Riskikartoituksissa määritellään myös paloajat, jonka palosuojattu rakenne tulee kestää ennen sortumista. Paloajan lisäksi määritellään paloskenaario ja palon tyyppi. Öljynjalostusteollisuudessa paloskenaariona käytetään yleisesti hiilivetypaloa, joka kehittyy huomattavasti nopeammin verrattuna selluloosapaloon. Kuvassa 8 on esitetty palokäyrät hiilivety- ja selluloosapaloille. Teräsrakenteiden palosuojausten mitoituksessa tulee käyttää hiilivetypalon mukaista palokäyrää. Palon tyyppi voi olla lammikkopalo tai suihkupalo tai yhdistelmä molemmista. Lammikkopalossa palavaa nestettä vuotaa esimerkiksi putkesta tai säiliöstä maahan jossa palaminen tapahtuu. Suihkupalossa palava aine purkautuu paineellisesta putkesta tai laitteesta ja aiheuttaa pistoliekin. Suihkupalossa lämpötila ja lämpövuo voi olla huomattavasti korkeampi verrattuna lammikkopaloon. Yleinen ohje on, että kantavat rakenteet prosessialueella mitoitetaan 30 min suihkupalolle ja 60 min lammikkopalolle. [52]



Kuva 8. Palokäyrät hiilivetypalolle ja selluloosapalolle [52]

Suunnittelija määrittelee rakenteille myös kriittisen lämpötilan. Kriittisellä lämpötilalla tarkoitetaan lämpötilaa, jossa rakenne vielä kantaa siihen kohdistuvan kuorman. Palosuojauksen tarkoitus on estää lämpötilan nouseminen yli kriittisen lämpötilan paloskenaarion mukaisessa palotilanteessa ja paloajassa. Spesifikaatiossa teräsrakenteille suositeltu kriittinen lämpötila on vähintään 400 ºC. Korkeampi kriittinen lämpötila mahdollistaa kevyemmän palosuojauksen verrattuna matalaan kriittiseen lämpötilaan. Korkea kriittinen lämpötila ja ohut palosuojaus taas voi johtaa siihen, että rakenteesta on suunniteltava raskaampi ja monimutkaisempi.

Teräsrakenteiden palosuojausmenetelmänä suositellaan käytettäväksi betonitäytteisiä koteloprofiileja. Koteloprofiilien käyttö ei aina kuitenkaan ole mahdollista ja järkevää. Profiilien koot kasvavat huomattavan isoiksi, jotta betonitäyttö ja raudoitus olisivat mahdollisia. Laajentuvat epoksipinnoitteet ovat vaihtoehto betonitäytteisille koteloprofiileille ja mahdollistavat kevyempien rakenteiden toteuttamisen.

5.2 Valvonta

5.2.1 Työmaavalvonta

Neste Engineering Solutions ohjeessa WI651 on kuivailtu työmaan toetutukseen ja asennusvalvontaa liittyvät tehtävät ja vastuut. Asennusvalvonnan tehtävät on jaettu neljään eri osa-alueeseen:

1. Aikataulu
2. Tekninen ja laadunvalvonta
3. Taloudellinen valvonta
4. Dokumentoinnin valvonta

Ohjeessa on esitetty yleisellä tasolla ne asiat, joihin asennusvalvonnan tulee keskittyä ja varmistaa, että ne toteutuvat sovitusti. Teknisellä ja laadunvalvonnalla varmistetaan oikea suunnitelman mukainen lopputulos. Alla on listattu teknisen ja laadunvalvonnan tärkeimmät asiat.

1 Työsuoritusten varmistaminen siten, että tulos vastaa sisällöltään teknisesti ja laadullisesti urakkasopimusta ja suunnitelmia
2 Urakoitsijoille kuuluvan laadunvalvonnan toteutumisen varmistaminen
3 Riittävien tarkastusten pitäminen eri työvaiheissa ja niiden aikana sekä tarvittaessa keskeyttää työ havaittaessa teknisiä tai laadullisia puutteita.
4 Työmenetelmien, työolosuhteiden ja hyvän asennustavan varmistaminen
5 Urakoitsijoiden tehtäviinsä perehtymisen seuranta
6 Käytettävien materiaalien suunnitelmanmukaisuuden ja laadun tarkastaminen
7 Tarkastaa esivalmisteiden valmistus erikseen sovitussa laajuudessa
8 Tavarantoimittajien ja -valmistajien asennus- ja työohjeiden noudattamisen seuranta
9 Eri työvaiheiden ja työlajien tarkoituksenmukaisen suoritusjärjestyksen seuranta
10 Ennakkotarkastuksin työtuloksen vastaanottokelpoisuuden määrittäminen
11 Valvoa urakoitsijan viranomaisvelvoitteiden suorittamista
12 Työn teknisten ja laadullisten poikkeamien ja havaintojen kirjaaminen ja tarvittavien toimenpiteiden toteutus ja valvonta [53]

Hitsaukseen liittyvissä asioissa asennusvalvojan tukena on valvontaorganisaatiossa QC-insinööri. QC-insinöörin pätevyysvaatimuksena on EN ISO 3834-5 liitteen A mukaiset koulutusohjelmat sekä teräsrakennestandardin SFS-EN 1090 vaatimusten tunteminen. QC-insinöörin tehtäviin kuuluu tarkistaa valmistajan tekemä laatusuunnitelma. Lisäksi hän osallistuu valmistajan luona tehtäviin valvontakäynteihin. QC-insinööri tarkastaa teräsrakenteeseen liittyvän dokumentaation ja varmistaa, että kaikki standardin vaatimat ja tilaajan määrittelemät asiat on dokumentoitu asiaan kuuluvalla tavalla. [53]

QC-insinöörin työkaluna ja ohjeena on tarkastuslomake CP1418. Lomake toimii raportointipohjana konepaja- tai työmaavalvonnan raportoinnille. Raporttipohjassa on otsikkotasolla ohjeistettu tarkastuskohteet. QC-insinöörin tulee varmistaa hitsaukseen liittyvät asiat, hitsareiden pätevyydet, käytettävät hitsausohjeet ja niiden noudattaminen, sekä tarkastaa hitsejä silmämääräisesti. Myös käytetyt materiaalit, tehdyt tarkastukset, terästyön laatuaste ja pintakäsittely tulee tarkastaa ja dokumentoida. [53][54][55]

Valvontaorganisaatiossa on myös pintakäsittelyyn erikoistuneita valvojia, jotka tukevat asennusvalvojaa pintakäsittelyyn liittyvissä asioissa. Pintakäsittelyvalvojat varmistavat, että teräsrakennevalmistajan pintakäsittelyosasto tai valmistajan käyttämän alihankkija täyttävät tilauksen mukaiset vaatimukset. Vaatimusten täyttämisen varmistamiseksi pintakäsittelyvalvojat tekevät tarkastuskäyntejä maalamoihin sekä asennuspaikoille. [53]

5.2.1 Konepajavalvonta

Kohdeyrityksen toteuttamissa projekteissa voidaan määritellä valvonta-/ tarkastuskäyntejä konepajalle, joka valmistaa teräsrakennekokoonpanot. Tapauskohtaisesti toimituksen sisällöstä ja toimittajasta määräytyen arvioidaan tarve valvontakäynneille. Tarkastuskäynneillä halutaan varmistaa ladulliset asiat sekä se, että toimittaja pysyy sovitussa aikataulussa. Tarkastuskäyntejä tehdään tarvittaessa myös valmistajan alihankkijoiden luokse. [54]

5.3 Työn vastaanotto

Työn valmistuttua valmistajan tulee käydä yksityiskohtaisesti läpi valmis teräsrakenne ja varmistaa, että se vastaa suunnitelmia. Kaikki toteutuksen tallenteet pitää myös esittää,

jotta voidaan varmistua, että tuote vastaa tilausta. Mahdolliset muutokset suunnitelmiin pitää olla merkittynä piirustuksiin ja tarvittaessa muutokset tulee olla suunnittelijan hyväksymiä. Mahdolliset puutteet pitää myös olla selvästi merkittynä dokumentteihin sekä suunnitelma ja aikataulu niiden korjaukseen. Asennusvalvoja vastaa työn valvonnasta ja hyväksyy valmiin työn. [41]

5.3.1 HOS- Hand Over System

Valmiiden töiden ja projektien luovutuksessa tilaajalle, NES käyttää HOS (Handover System) luovutusjärjestelmää. Teräsrakenteiden osalta, asennusvalvojan tulee kuitata sähköiseen järjestelmään työhön liittyvät tarkastuskohdat. Järjestelmään on luotu työkohtaiset tarkastuslistat. Teräsrakenteita koskien kokoonpanokuva tai asennuspiirustus voi olla tarkastettava kohde. Tällä halutaan varmistaa, että kyseinen kokoonpanon valmius on tarkastettu riittävän yksityiskohtaisesti ja mahdolliset puutteet tulee kirjatuksi. Jokainen vaihe tulee kuitata tehdyksi tai vaihtoehtoisesti merkitä, jos sitä ei kyseisessä kohteessa tarvita. Sähköinen järjestelmä helpottaa valmiuden seurantaa. Järjestelmästä voidaan seurata luovutuksissa olleiden virheiden ja puutteiden korjaantumista. [41]

Teräsrakenteiden osalta tarkastuskohteet on esitetty taulukossa 17.

Taulukko 17. HOS- järjestelmän tarkastuskohteet teräsrakenteiden osalta [41]

1	Pre-fabrication checked/ready
	Welding done
	PWHT done (if applicable)
	Hardness measurements done (if applicable)
	NDT done
2	Visual inspections
	Anchor bolts positions according to specification
	Level of padding inspected
	Erection of structural steel frame as planned
	Levelling and alignment in order - erection survey
	Stairs and steps according to drawing
	Screw- and bolts connections according to drawing
	Service platforms, grids and railings as in plans
	Checked grating fixing point and/or welding spot point of chequered plate
3	Torque and calibration
	Tightening of Anchor Bolts checked
	Tightening of bols including torquing as required
	Check of high strength bolt tightening according to required design value
	Bolt torque and equipment calibration approved
4	Safety
	Detachable handrails
	Temporary occupational permit issued and in order, if applicable
	Ladders, Safety gates and Back protectors in order and as planned
	Connection to earthing systems
	Grouting is as planned, if any
5	Fireproofing and touch-up painting
	Surface treatment and painting as planned
	Fireproofing (internal) in order
	Paint touch up at damaged areas, if any
6	Ready for partial handover
	Final inspection of erected structure
	Final structural release for piping/equipment erection
	It has been checked and confirm that there are no critical PA punches.
	Punches that are permitted are PC and PD (PB are permitted if their fix is planned out)
	Other observations

6 KEHITYSEHDOTUKSIA SUUNNITTELUUN JA VALVONTAAN

Teoriaosuudessa selvitettiin teräsrakenteiden valmistukseen liittyviä määräyksiä ja standardien vaatimuksia. Standardien vaatimuksia verrattiin kohdeyrityksen tuottamiin suunnitelmiin. Haastatteluilla pyrittiin selvittämään eri osapuolten näkemyksiä ja löytämään parannusehdotuksia suunnitteluun ja valvontaan.

Standardin SFS-EN 1090-2 vuoden 2018 versioon liittyvien muutosten myötä kohdeyrityksen tuottamat määritelmät ja viittaukset tulisi päivittää vastaaman uutta standardia.

SFS-EN 1090-1 soveltamisalan piirin kuuluvat rakenteet tulisi määritellä selkeämmin. Esimerkiksi kokoonpanokuvat, jotka kuuluvat CE-merkinnän piirin olisi hyvä eritellä.

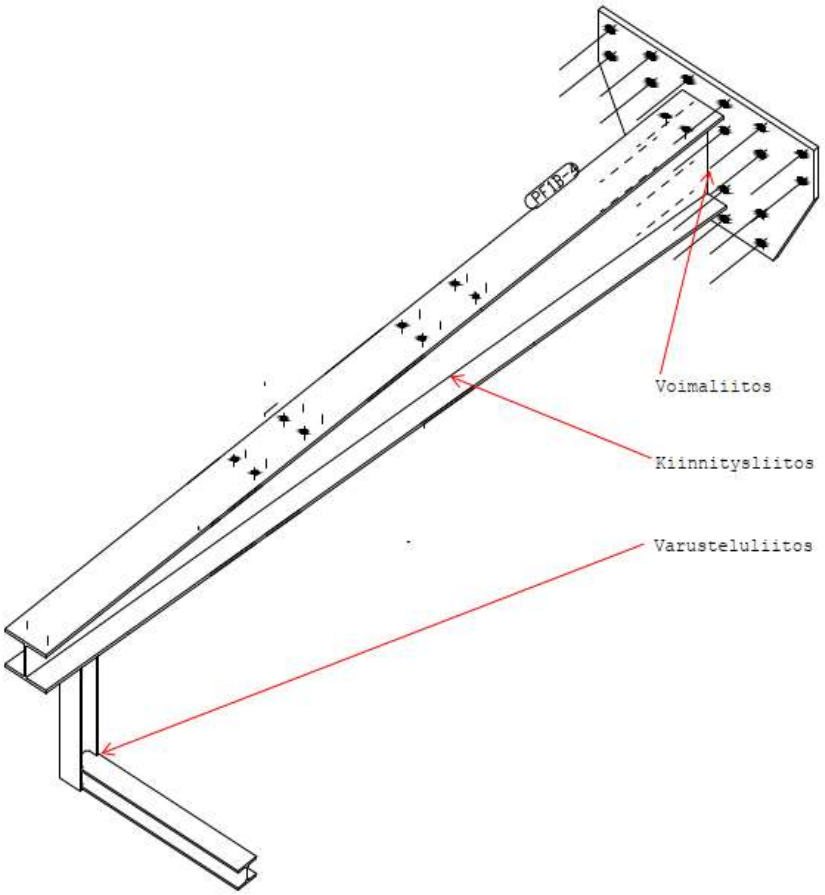
Valmistukseen liittyvät tekniset vaatimukset ovat jo tällä hetkellä määritelty SFS-EN 1090-2 mukaiseksi, myös toteutusluokka on määritelty työmäärittelyssä ja kokoonpanokuvissa vähintään EXC2 mukaiseksi. Työmäärittelyssä määritellään myös se, että työmaalla tehtävät työt tulee toteuttaa vastaavilla EXC2 toteutusluokan mukaisilla vaatimuksilla kuin konepajavalmistus.

Haastattelujen ja standardin vaatimusten perusteella hitsaukseen liittyvät tarkastukset olisi syytä määritellä tarkemmin. Toteutusluokan EXC2 mukaiset rutiini NDT- tarkastukset ovat hyvin vähäisiä. Esimerkiksi pienaliitoksia ei standardin mukaan tarkasteta ollenkaan, jos hitsin a-mitta on alle 12mm tai perusaineen paksuus on alle 30mm. Pienaliitokset ovat yleisin liitosmuoto kohdeyrityksen toteuttamissa projekteissa ja kantavat monesti merkittäviäkin kuormia.

Myös päittäisliitosten osalta tarkastuksia olisi syytä tarkentaa. Rutiini NDT-tarkastustaulukon mukaan 10% kaikista päittäisliitoksista tulee tarkastaa. Tämä voi tietyissä tapauksissa johtaa siihen, että tarkastukset kohdistuvat vähemmän tärkeisiin hitseihin ja kuormaa kantavat hitsit jää tarkastamatta. Standardin päivityksen myötä siihen on lisätty hitsintarkastusluokat. Hitsintarkastusluokkien tarkoitus on mahdollistaa tarkastuksien kohdentaminen hitseihin, joiden tarkastaminen on tarkoituksenmukaista.

Kohdeyrityksen suunnittelemissa ja toteuttamissa teräsrakenteissa olisi hyvä rakenteista määräytyen miettiä hitsintarkastusluokkien käyttö. Vaihtoehtoisesti suunnittelija voisi määritellä tarkastettavia hitsejä tai ryhmän hitsejä, joista tietty osa tulee tarkastaa. Hitsintarkastusluokkien käyttö tai tarkastettavien hitsien määrittely selkeyttäisi valmistajan työtä. Myös valvonnan puolesta valmiiksi määritellyt tarkastuskohteet helpottaisivat seurantaa ja varmistamista siitä, että tarkastukset on tehty riittävässä laajuudessa.

Suunnittelijoiden ja valvojien tulisi myös osata tunnistaa kappaleessa 3.2.6 esitetyt liitostyypit, jotta tarkastukset saataisiin kohdistettua kriittisiin liitoksiin. Kuvassa 9 on esitetty esimerkki kokoonpanosta, jossa kaikki hitsit ovat pienahitsejä. Kuvassa on hitsattu H-palkki, jonka päätyyn on hitsattu päätylevy pilariin kiinnitystä varten. Kantavaan palkkiin on myös hitsattu kannake putkea varten. Palkin ja päätylevyn välinen hitsi on voimaliitos, H- palkin uuman ja laipan väliset hitsit ovat kiinnitysliitoksia ja putkikannakkeen hitsit ovat varusteluliitoksia. Toteutusluokan EXC2 mukaan kyseisestä rakenteesta pienahitsejä ei tarvitse tarkastaa, jos toteutuseritelmässä sitä ei vaadita. Suunnittelija voisi toteutuseritelmässä määritellä kokoonpanon hitsit tarkastettavaksi. Jos kaikkia hitsejä ei tarkasteta, tulisi voimaliitos ehdottomasti valita tarkastettavaksi. Jos projektissa on useampi kokoonpano, jossa on vastaavasti kuormitettuja voimaliitoksia, voisi kaikille hitseille määritellä hitsintarkastusluokka. Esimerkiksi WIC3 luokassa pienahitsit tarkastetaan 20% laajuudessa pintatarkastusmenetelmällä. WIC4 luokassa tarkastuslaajuus olisi 100%. Varustelu- ja kiinnikeliitoksille voisi määritellä hitsintarkastusluokaksi WIC2 tai WIC1. Näissä luokissa pienahitsien tarkastuslaajuus on 5% ja 0%.



Kuva 9. Tarkastettavien hitsien määrittely liitostyypin perusteella

Kohdeyrityksen projekteissa toteuttamat teräsrakenteet ovat monesti moniulotteisia ja asennetaan ympäristöön, jossa on valmiiksi paljon erilaisia rakenteita ja laitteita. Tämä johtaa siihen, että valmiita kokoonpanoja joudutaan joskus muuttamaan työmaalla, jotta ne soveltuvat ja ovat asennettavissa suunniteltuun kohteeseen. Asennusta suorittavat yritykset ja asennusvalvojat kaipaisivat valmiita toimintamalleja, miten muutoksia voidaan tehdä ja mitkä muutokset vaativat suunnittelijan hyväksyntää. Myös muutoksiin liittyvät tarkastukset tulisi määritellä. Esimerkiksi, jos kantavia palkkeja jatketaan, tulee määritellä, miten ne tulee tarkastaa. [23]

Asennusten ja kaikkien työmaatoimintojen osalta työmäärittelyssä velvoitetaan noudatettavaksi SFS-EN 1090-2 mukaisia vaatimuksia. Standardin mukaan kaikki hitsaustoiminnot tulee täyttää vastaavat vaatimukset työmaalla kuin konepajalla. Työmaalla kuitenkin hitsataan huomattavasti hankalammissa asennoissa ja olosuhteissa, joten olisi hyvä määritellä

työmaatoimintojen ja varsinkin hitsauksen osalta tarkennuksia. Esimerkiksi valmistajalta voisi vaatia hitsauksen seurantaa ja raportointia sekä enemmän hitsejä tarkastettavaksi, jotta voidaan varmistua siitä, että hitsauksen laatu vastaa vaatimuksia. [24][54]

SFS-EN 1090-2 liitteessä A, taulukossa A.1 on määritelty ne asiat, joista tarkennuksia tulee esittää toteutuseritelmässä. Kohdeyrityksen suunnittelun tuottamissa asiakirjoissa ei kaikkiin löydy suoraa vastausta. Työmäärittelyä voisi muokata siten, että siitä löytyy vastaukset liitteen A.1 mukaisiin kohtiin tai lisäämällä viittaus toiseen dokumenttiin, jossa vaatimus on esitetty.

Työmaan valvonnan, niin asennusvalvonnan kuin laatuvalvonnankin työ selkeytyisi, jos suunnitelmissa ja määrityksissä valmistamiseen, tarkastamiseen ja asentamiseen liittyvät asiat olisi määritelty mahdollisimman yksityiskohtaisesti. Valmistuksen ja asennuksen kannalta suunnittelun tuottama aineisto antaa pääsääntöisesti riittävät tiedot teräsrakenteet toteuttamiselle. Haastatteluissa tuli useaan otteeseen esille, että standardista poikkeavat vaatimukset tulisi esittää selkeästi. Kappaleessa 5.1.8 on esitetty kohdeyrityksen lisävaatimuksia verrattuna standardiin. Standardista poikkeavat vaatimukset voisi esimerkiksi luetella työmäärittelyssä ja tässä voisi esimerkiksi hyödyntää SFS-EN 1090-2 liitteen A taulukkoa A.2.

Myös esijännittämättömien ruuvikiinnitysten tarkastamiseen liittyvät vaatimukset herättävät monesti kysymyksiä. Standardi määrittelee kaikille ruuviliitoksille tehtäväksi silmämääräisen tarkastuksen. Silmämääräisen tarkastuksen todentamiseksi työmäärittelyssä tilaaja voisi määritellä tavat, joilla voidaan varmistaa, että liitokset on kiristetty ja tarkastettu. Kiristettyjen ja tarkastettujen ruuviliitosten merkitseminen esimerkiksi rasvaliidulla on tapa, jota osa valmistajista käyttää oman työn laadun valvonnassa. Tilaaja voisi vaatia vastaavaa toimintamallia käytettäväksi työmäärittelyssään. Näin saataisiin yhtenäinen tapa toimia kaikkien valmistajien ja asennusta tekevien yritysten välillä. Yhtenäinen toimintamalli helpottaisi valvontaa ja epäselviltä tilanteilta vältyttäisiin.

Kappaleessa 4 käsiteltiin laadunvalvonnan työkaluja. Rakennusluvan vaativissa rakennushankkeissa rakennusvalvontaviranomainen voi rakennusluvan ehdoissa määrittää erityisalan työnjohtajan nimeämistä, jos kohde on erityisen vaativa. Teräsrakenteiden osalta

maankäyttö- ja rakennuslain mukainen erityisalan työnjohtajan pätevyys on teräsrakenteiden asennustyönjohtaja. Hänen tehtävä on vastata teräsrakenteiden osalta siitä, että rakennustyö tehdään säännösten, määräysten ja hyvän rakennustavan mukaisesti. Teräsrakenteita koskien on olemassa myös teräsrakennetehtaan työnjohtajan pätevyys, joka on tarvelähtöinen pätevyys. Se on perustettu vastaamaan kasvaviin laatuvaatimuksiin teräsrakenteiden valmistuksessa.

Hankkeissa, jotka eivät kuulu maankäyttö- ja rakennuslain piiriin tai rakennuslupaa ei tarvita, voi tilaaja sopimuksessa vaatia työnjohtajapätevyyksiä. Osa kohdeyrityksen toteuttamista projekteista, joissa rakentaminen tapahtuu tehdasalueen sisällä, eivät vaadi rakennuslupaa. Rakenteet voivat kuitenkin olla vaativia ja kannattelevat suuria kuormia ja tuotantoprosessien kannalta kriittisiä laitteita. Näissä tapauksissa kohdeyritys voisi laadunvarmistustoimenpiteenä vaatia valmistajalta henkilöpätevyyksiä.

Kohdeyritys voisi myös vaatia palkkaamilleen asennusvalvojille henkilöpätevyyksiä teräsrakenteista. Henkilöpätevyyksillä varmistuttaisiin siitä, että asennusvalvojalla on riittävä osaaminen teräsrakenteista sekä niihin liittyvistä standardeista. Myös asennusvalvojien kouluttaminen yrityksen sisällä olisi yksi työkalu, jolla varmistettaisiin laadukas lopputulos. Kohdeyritys voisi luoda koulutusmateriaalin, jossa korostetaan niitä osa-alueita standardista SFS-EN 1090- 2, jotka koskevat projekteissa valmistettavia rakenteita. Näin asennusvalvojalla olisi edellytykset ohjata ja puuttua asioihin asennuksen aikana, jotka vaikuttavat lopputulokseen.

Kappaleessa 5.1.8 esiteltiin työmäärittelyssä esitettyjä lisävaatimuksia standardiin SFS-EN 1090-2. Vaatimus aluslevyjen käytöstä esijännittämättömissä ruuvikokoonpanoissa on esitetty kohdeyrityksen spesifikaatiossa J101, mutta vaatimusta ei tuoda esille työmäärittelyssä. Työmäärittely kuitenkin velvoittaa noudattamaan myös spesifikaation vaatimuksia. Työmäärittelyn ja sen liitteiden tarkoitus on antaa kaikki tarvittavat tiedot teräsrakenteen valmistukseen ja asennukseen. [49]

Tilanne, jossa vaatimuksia on esitetty monessa eri dokumentissa voi olla harahaanjohtava ja vaikeasti tulkittava. Pahimmassa tapauksessa epäselvyydet voivat johtaa siihen, että

asennukset eivät täytä vaatimuksia. Työmäärittelyyn tulisi lisätä vähintään standardin vaatimusten lisäksi asetetut lisävaatimukset.

Toimitus- ja konepajavalvonnan osalta projektien johtoa ja työmaan johtoa olisi hyvä perehdyttää teräsrakenteiden valmistukseen. Laajempi osaaminen ja ymmärtäminen teräsrakenteiden laatuvaatimuksista antaisi paremmat edellytykset resurssien hankkimiseen ja valvontatarpeiden määrittämiseksi. Konepajavalvontaa kannattaisi myös lisätä, kuten kappaleessa 4.1 todetaan. Esimerkiksi vierailut toimittajalla ovat hyödyllinen tapa varmistaa toimituksen laatu ja aikataulussa pysyminen.

Vaatimus laatusuunnitelman laatimisesta teräsrakenteiden osalta tulisi esittää toteutuseritelmässä. Ympäristöministeriön asetuksessa kantavista rakenteista on määritelty laatusuunnitelma pakolliseksi rakenteille joiden seuraamusluokat ovat CC2 tai CC3.

Kohdeyrityksen työmäärittelyn dokumentointi osuudessa on esitetty vaatimus laatusuunnitelman tekemisestä. Laatusuunnitelman sisältö olisi myös hyvä määritellä. [25] Sisältöä koskien voisi viitata standardin SFS-EN 1090-2 liitteeseen C tai hEn Helpdeskin tekemään malliasiakirjaan. Vaihtoehtoisesti kohdeyritys voisi luoda oman asiakirjan, jota valmistajien tulisi käyttää.

7 YHTEENVETO

Työn tavoitteena oli selvittää, miten Neste Engineering Solutionsin toteuttamissa projekteissa sovelletaan standardia SFS-EN 1090 ja miten suunnitelmat, spesifikaatiot ja määritykset vastaavat standardin vaatimuksiin toteutuseritelmästä. Työssä pyrittiin myös selvittämään, onko standardin mukaiset ja tällä hetkellä käytössä olevien spesifikaatioiden ja ohjeiden määritelmät riittävät vastaaman vaativien teräsrakenteiden valmistukseen liittyviä vaatimuksia. Toimitus ja asennusvalvonnan osalta selvitettiin, miten nykykäytännöillä varmistetaan, että toimitukset ja asennukset täyttävät niille asetetut vaatimukset.

Pääpiirteitään suunnittelun tuottama aineisto vastaa toteutuseritelmän vaatimuksia. Työmäärittelyyn olisi kuitenkin hyvä lisätä tarkentavia kohtia, jotka helpottaisivat valmistajan

työtä. Myös tilaajan näkökulmasta yksityiskohtaisemmat määritelmät helpottaisivat toimituksen ja asennuksen seurantaa.

Kehitysehdotuksissa esitettiin toimenpiteitä, joilla kohdeyritys saisi standardin vaatimukset vietyä suunnitelmiin ja spesifikaatioihin. Kehitysehdotuksilla haluttiin myös varmistaa, että valmistettavat teräsrakenteet toteutetaan laadukkaasti määräysten mukaisesti. Teräsrakennespesifikaation ja työmäärittelyn päivityksellä kohdeyritys saisi teräsrakenteiden laatuun vaikuttavat tekijät kohdistettua oikein ja tehokkaammin käyttöön.

Kehitysehdotuksissa tuotiin myös esille standardin SFS-EN 1090-2 vuonna 2018 vahvistetun version myötä tulleet uudistukset sekä sen, miten ne vaikuttavat kohdeyrityksen toimintaan.

Työssä käytiin myös läpi laadunvarmistuksen työkaluja sekä miten kohdeyritys tällä hetkellä varmistaa, että toimitukset ja asennustyöt täyttävät niille asetetut vaatimukset. Tällä hetkellä kohdeyrityksen ohjeistus ja käytännöt ovat riittävät varmistamaan standardien mukaisen laatutason teräsrakenteiden valmistuksessa. Kehitysehdotuksissa esitettiin, miten tilaaja voi parantaa valvontaa ja sitä kautta varmistaa teräsrakenteiden laadukkaan toteuttamisen. Hyödyntämällä kehitysehdotuksissa esitettyjä asioita, valvonta- ja tarkastustoiminta saataisiin kohdistettua paremmin tarkoituksenmukaisiin asioihin.

LÄHTEET

[1] Neste Oil Oyj. 2015. Even better gasoline from the Porvoo refinery [www]. [Viitattu 15.4.2020]. Saatavissa: https://www.neste.com/even-better-gasoline-porvoo-refinery

[2] Neste Oil Oyj. 2020. Neste Engineering Solutions [www]. [Viitattu 30.4.2020] Saatavissa: https://www.neste.com/corporate-info/who-we-are/neste-engineering-solutions

[3] Ympäristöministeriö. 2020. Rakennustuotteita koskeva lainsäädäntö. [www]. [Viitattu 31.3.2020]. Saatavissa: https://www.ym.fi/fi-FI/Maankaytto_ja_rakentaminen/Lainsaadanto_ja_ohjeet/Rakennustuotteita_koskeva_lainsaadanto

[4] Sesko Ry 2020. Harmonisoidut standardit ja direktiivit. [www]. [Viitattu 31.3.2020] Saatavissa: https://www.sesko.fi/standardit/harmonisoidut_standardit_ja_direktiivit

[5] Pulkki. T. Kysymyksiä ja vastauksia rakennustuotteiden CE-merkinnästä. [www]. [Viitattu 10.4.2020] Saatavissa: https://www.rakennustieto.fi/Downloads/RK/RK150101.pdf

[6] hENHelpdesk. CE-merkintä [www]. [Viitattu 10.4.2020]. Saatavissa:http://www.henhelpdesk.fi/ce-merkinta.html

[7] Rakennustuoteinfo. CE-merkittävät rakennustuotteet. [www]. [Viitattu 11.4.2020]. Saatavissa: http://www.rakennustuoteinfo.fi/rakennustuotteen-ce-merkinta/

[8] Tähtikunnas. J.2018. Teräsrakenteiden toteutuksen standardien muutokset. [www]. [Viitattu 15.4.2020]. Saatavissa:http://www.henhelpdesk.fi/media/seminaari-2018/16-eurokoodi_2018_-seminaari_tahtikunnas_try.pdf

[9] hENHelpdesk. 2014. Suomalainen tulkinta rakenteellisten teräs- ja alumiinikokoonpanojen harmonisoidun tuotestandardin SFS-EN 1090-1+A1:2012 soveltamisalasta. [www]. [Viitattu 31.3.2020]. Saatavissa: http://www.henhelpdesk.fi/media/mediapankki/en-1090-1-soveltamisla-fi-tulkinta-v.1.2.pdf

[10] Teräsrakenneyhdistys ry. 2015. FAQ/SFS-EN 1090-1 ja SFS-EN 1090-2 – Usein esitettyjä kysymyksiä – kysymyksiin esitetyt vastaukset. [www]. [Viitattu 28.3.2020] Saatavissa: http://www.terasrakenneyhdistys.fi/document/1/207/1aef673/FAQ_EN_1090_julkaisu_6_rev.pdf

[11] SFS-EN 1090-1 + A1. 2012. Teräs- ja alumiinirakenteiden toteutus. Osa 1: Vaatimukset rakenteellisten kokoonpanojen vaatimustenmukaisuuden arviointiin. Helsinki. Suomen Standardisoimisliitto SFS.

[12] Kiwa Oy. Kntavien teräsrakenteiden CE-merkintä (EN 1090-1). [www] [Viitattu 20.4.2020] Saatavissa: https://www.kiwa.com/fi/fi/palvelumme/kantavien-terasrakenteiden-ce-merkinta-en-1090-1/

[13] CEN/TR 17052. 2017 . Guidelines on implementing EN 1090-1:2009+A1:2011, Execution of steel structures and aluminium structures. Part 1: Requirements for conformity assessment of structural components. Helsinki. Suomen Standardisoimisliitto SFS

[14] SFS-EN 1090-2 + A1. 2018. Teräs- ja alumiinirakenteiden toteutus. Osa 2: Teräsrakenteita koskevat tekniset vaatimukset. Helsinki. Suomen Standardisoimisliitto SFS.

[15] SFS-EN 1090-2 + A1. 2012. Teräs- ja alumiinirakenteiden toteutus. Osa 2: Teräsrakenteita koskevat tekniset vaatimukset. Helsinki. Suomen Standardisoimisliitto SFS.

[16] SFS-EN 1090-3. 2019. Teräs- ja alumiinirakenteiden toteutus. Osa 3: Alumiinirakenteiden tekniset vaatimukset. Helsinki. Suomen Standardisoimisliitto SFS.

[17] METSTA. Muutoksia rakenteellisten teräsrakenteiden (EN 1090) teknisiin vaatimuksiin – käyttöön viimeistään 1.1.2019. [www]. [Viitattu: 31.3.2020]. Saataviss: http://metsta.fi/index.php?we_objectID=42162

[18] SFS-EN 1090-4. 2018. Execution of steel structures and aluminium structures. Part 4: Technical requirements for cold-formed structural steel elements and cold-formed structures for roof, ceiling, floor and wall applications. Helsinki. Suomen Standardisoimisliitto SFS.

[19] SFS-EN 1090-5. 2017. Execution of steel structures and aluminium structures. Part 5: Technical requirements for cold-formed structural aluminium elements and cold-formed structures for roof, ceiling, floor and wall applications. Helsinki. Suomen Standardisoimisliitto SFS.

[20] Euroopan parlamentin ja neuvoston asetus (EU) N:o 305/2011 rakennustuotteiden kaupan pitämistä koskevien ehtojen yhdenmukaistamisesta ja neuvoston direktiivin 89/106/ETY kumoamisesta. Euroopan parlamentti ja neuvosto. Saatavissa: https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/ALL/?uri=CELEX:32011R0305

[21] Metsta. Kantavien teräs- ja alumiinirakenteiden CE-merkintä. [www] [Viitattu 15.3.2020] Saatavissa: http://www.metsta.fi/terasrakenteet_ce-merkinta.php

[22] Finlex. Ympäristöministeriön asetus kantavista rakenteista. [www]. [Viitattu 15.4.2020]. Saatavissa: https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2014/20140477

[23] Stenroth, A. 2020. Technical Director, Rautarakenne E. Kauppinen. [Haastattelu 15.4.2020]

[24] Leppänen, H. 2020. Construction Manager, Neste Engineering Solutions. [Haastattelu 16.4.2020]

[25] Alhainen, M. 2020. Chief Design Engineer, Neste Engineering Solutions. [Haastattelu 17.4.2020]

[26] Guidance paper L. 2003. Application and use of eurocodes. European Comission. Brysseli. Saatavissa: http://eurocodes.jrc.ec.europa.eu/doc/gpl.pdf

[27] Koponen. A. 2017. Kantavat, itsekantavat ja puolirakenteelliset rakennustuotteet. 2017. Luentomateriaali. Saatavissa: http://www.henhelpdesk.fi/media/seminaari-2017/17-koponen.pdf

[28] Rinta-Seppälä, J. Savolainen, A. ja Vuolio, A. Menettelytapaohje käytettäessä maahantuotuja CE-merkittyjä kantavia rakennustuotteita Suomen rakennusprojekteissa. Saatavissa: https://skol.teknologiateollisuus.fi/sites/skol/files/CE_menettelyohje.pdf

[29] SFS-EN 1993-1-1/A1. 2014. Eurokoodi 3: Terärakenteiden suunnittelu. Osa 1-1: Yleiset Säännöt ja rakennuskisa koskevat säännöt. Helsinki. Suomen Standardisoimisliitto SFS.

[30] SFS-EN 1990+A1+AC. 2006. Eurokoodi: Rakenteiden Suunnitteluperusteet. Helsinki. Suomen Standardisoimisliitto SFS.

[31] Muhonen. J. 2011. Hitsausohjeet (WPS) ja niiden hyväksyntä. Hitsaustekniikka lehti 6/2011

[32] Tikka, E. ja Markkanen, P. 2014. Vaatimuksia hitsaustoiminnoille – CE -merkintävelvoite astui voimaan. Promaint – kunnossapidon erikoislehti 5/2014. Helsinki: Omnipress Oy.

[33] Kemppi Oy. [www]. [Viitattu 11.4.2020] Saatavissa: https://www.kemppi.com/fi-FI/tuotteet/category/ohjelmistot/standardi-wps/

[34] SFS-EN ISO 14731. 2019. Hitsauksen koordinointi. Tehtävät ja vastuut. Helsinki. Suomen Standardisoimisliitto SFS.

[35] Junnonen, J-M.. Rakennushankkeen laadunvarmistus. [www] [Viitattu 11.3.2020] Saatavissa: https://www.rakennustieto.fi/Downloads/RK/RK020202.pdf

[36] Cavinato, J. L. ja Kauffman, R. G. 2000. The Purchasing Handbook: A Guide for the Purchasing and Supply Professional. New York, McGraw-Hill Companies

[37] Zenz, G. J. 1994. Purchasing and the Management of Materials. United States, John Wiley & Sons, Inc.

[38] Willoughby, K. A. 2005. Process improvement in project expediting: there must be a better way. International Journal of Project Management

[39] Iloranta, K. & Pajunen-Muhonen, H. 2008. Hankintojen johtaminen. Jyväskylä, Tietosanoma Oy

[40] Bregman, RL. 2009. Preemptive expediting to improve project due date performance. Journal of the Operational Research Society. vol.60.

[41] CP855. 2018. Toteutusprojektin luovutus. 6. Revisio

[42] Junnonen, J-M. Työmaavalvojan vastuut ja tehtävät. [www] [Viitattu 20.4.2020]. Saatavissa: https://www.rakennustieto.fi/Downloads/RK/RK120302.pdf

[43] 5.2.1999/132 Maankäyttö ja rakennuslaki.1999. Saatavissa: https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/1999/19990132

[44] Saarela, M ja Saarinen, T. 2015 Ympäristöministeriön ohje rakentamisen työnjohtotehtävien vaativuusluokista ja työnjohtajien kelpoisuudesta. Saatavissa: https://www.edilex.fi/data/rakentamismaaraykset/YM_ohje_rakentamisen_tyonjohtotehtavien_vaativuusluokista_ja_tyonjohtajien_kelpoisuudesta.pdf

[45] FISE Oy. [www]. [Viitattu 25.4.2020] Saatavissa: https://fise.fi/patevyyspalvelu/hae-patevyytta/tyonjohtajat/

[46] hENHelpdesk. Kantavien rakenteiden toteutuksen laatusuunnitelma [www]. [Viitattu 26.4.2020] Saatavissa: http://www.henhelpdesk.fi/kantavien-rakenteiden-toteutuksen-laatusuunnitelma.html

[47] J101. 2012. Teräsrakennespesifikaatio. 9. Revisio. Porvoo

[48] CP187. Common Practice – Civil Engineering. 3. Revisio. Porvoo

[49] Lemetti, S. 2020. Manager, Civil Engineering. Neste Engineering Solutions. [Haastattelu 15.4.2020]

[50] WI1224 Työmäärittelypohja – Teräsrakenteet. Neste Engineering Solutions

[51] L103. 2017. Korroosionestomaalausspesifikaatio. 15. Revisio. Porvoo

[52] L104. 2018. Palosuojausspesifikaatio. 9. Revisio. Porvoo

[53] WI651. 2019. Toteutus ja valvonta. Neste Engineering Solutions. 6. Reviso

[54] Kvedaras, N. 2020. Senior Quality Control Engineer Neste Engineering Solutions. [Haastattelu 17.4.2020]

[55] CP1418. Inspection Report – Steel Structures. 2 Revisio.

[56] Niemi, E. 2003. Levyrakenteiden suunnittelu. Helsinki. Teknologiateollisuus ry.

[57] Björk, T. ja Hämäläinen, O-P. 2019. Teräsrakenteiden suunnittelu. Luentomateriaali. Lappeenrannan teknillinen yliopisto.