

LAPPEENRANNAN TEKNILLINEN YLIOPISTO

Teknillinen tiedekunta

Konetekniikan koulutusohjelma

BK10A0401 Kandidaatintyö ja seminaari

RAKENNUS TUOTEASETUksen (305/2011/EC) TUOMAT VAATIMUKSET  
HITSAUSTOIMINNALLE TERÄSRAKENTEIDEN VALMISTUKSESSA  
REQUIREMENTS FOR WELDING IN MANUFACTURING OF STEEL STRUCTURES  
SET BY REGULATION (305/2011/EC) FOR CONSTRUCTION PRODUCTS

Lappeenrannassa 25.3.2013

Antti Martikainen

0285691

## SISÄLLYSLUETTELO

<b>1</b>	<b>JOHDANTO .....</b>	<b>6</b>
1.1	Työn tavoite ja rajausta .....	7
<b>2</b>	<b>TERÄS JA SEN OMINAISUUDET .....</b>	<b>8</b>
2.1	Teräksen metallurgia .....	9
2.1.1	Teräksen kemiallinen koostumus .....	9
2.1.2	Teräksen toimitustila .....	11
2.2	Teräslaadut .....	15
2.2.1	Rakenneteräokset .....	17
2.2.2	Ruostumattomat teräokset .....	18
2.3	Teräksen ominaisuudet .....	20
2.3.1	Lujuus .....	21
2.3.2	Iskusitkeys .....	21
2.3.3	Hitsattavuus .....	22
2.3.4	Muovattavuus .....	24
2.3.5	Korroosionkestävyys .....	24
<b>3</b>	<b>TERÄKSEN KÄYTTÖKOHTEET RAKENTAMISESSA .....</b>	<b>26</b>
3.1	Hallirakennukset .....	27
3.2	Rakennusten runkorakenteet .....	28
3.3	Sillat .....	28
3.4	Kaiteet, huoltotasot ja portaat .....	29
<b>4</b>	<b>TERÄS- JA ALUMIINIRAKENTEIDEN HARMONISOITU TUOTESTANDARDI EN 1090 JA SEN ASETTAMAT VAATIMUKSET HITSAUSTOIMINNALLE .....</b>	<b>30</b>
4.1	Standardin soveltamisala .....	30
4.2	Toteutusluokat .....	31
4.2.1	Toteutusluokan valitseminen .....	32
4.3	Standardin antamat vaatimukset hitsaustoiminnalle eri toteutusluokissa .....	34
4.4	Hitsaushenkilöstö ja sen pätevyudet .....	35
4.5	Hitsausohjeiden käyttö ja niiden hyväksyminen .....	37
4.6	Hitsien tarkastus ja testaaminen .....	39
4.7	Hitsien hyväksymiskriteerit .....	40

4.8 Hitsauksessa käytettyjen materiaalien ja lisäaineiden tunnistettavuus sekä jäljitettävyys.....	42
<b>5 CE-MERKINTÄOIKEUDEN SAAMINEN.....</b>	<b>43</b>
5.1 Oikeus CE-merkinnän kiinnittämiseen .....	43
5.2 Valmistajan tehtävät CE-merkintäoikeuden saamiseksi .....	44
<b>6 YHTEENVETO.....</b>	<b>45</b>
<b>LÄHTEET .....</b>	<b>47</b>

## SYMBOLI- JA LYHENNELUETTELO

### Yksiköt ja tunnukset

mm	millimetri
MPa	megapascal
°C	celsiusaste
A5	murtovenymä %
R <sub>eH</sub>	ylempi myötöraja
R <sub>m</sub>	murtolujuus
R <sub>0,2</sub>	0,2-raja
%	prosentti
111	puikkohitsaus
114	täytelankahitsaus ilman suojakaasua
12	jauhekaarihitsaus
13	MIG/MAG-hitsaus, metallikaasukaarihitsaus
131	MIG-umpilankahitsaus
135	MAG-umpilankahitsaus
14	kaasukaarihitsaus
141	TIG-umpilankahitsaus

### Lyhenteet

AISI	American Iron and Steel Institute
CC	seuraamusluokka
EC	European Community, Euroopan yhteisö
EN	European Standard, Eurooppalainen standardi
EU	Euroopan unioni
EXC	Execution Class, toteutusluokka
ISO	International Organization for Standardization
MT	Magnetic Particle Testing, magneettijauhetarkastus
NDT	Nondestructive Testing, rikkomaton testaus
PC	tuotantoluokka

PT	Penetrant Testing, tunkeumanestetarkastus
RT	Radiographic Testing, röntgentarkastus
SC	käyttöluokka
UT	Ultrasonic Testing, ultraäänitarkastus
WPS	Welding Procedure Specification, hitsausohje

## 1 JOHDANTO

Tänä päivänä toimivista maiden rajat ylittävistä markkinoista on tullut todella merkittävä ja tärkeä asia monille yrityksille. Euroopassa EU:n yhtenä omana keskeisenä poliittisena tavoitteena onkin ollut pyrkiä luomaan toimivat sisämarkkinat EU:n sisälle. Rakennustuotteiden kohdalla tässä asiassa on ollut monia erilaisia ongelmia johtuen muun muassa eri maiden omista eriävistä vaatimuksista ja säädöksistä laatuasioiden sekä toimintatapojen suhteen. Eriävien toimintatapojen, merkintöjen ja ominaisuuksien osoittamistapojen vuoksi tuotteiden laadun ja toteutuksen arvioiminen sekä vertaileminen ovat olleet vaikeaa eri maiden välillä. /1/

Melkein kolme vuotta kestäneen työn jälkeen jäsenmaiden EU:n ministeriö, Euroopan parlamentti sekä komissio hyväksyivät rakennustuotedirektiivin uudistuksen EU:n rakennustuoteasetukseksi (305/2011/EC). Uuden rakennustuoteasetuksen myötä kaikkien Euroopassa markkinoilla olevien rakennustuotteiden tulee olla CE-merkittyjä. Uudistus koskee käytännössä lähes kaikkia rakennustuotteita. /1/

Uusi asetus tarkoittaa siis sitä, että myös kaikissa markkinoilla olevissa hitsatuissa teräsrakenteissa ja teräsrakennekokoonpanoissa, jotka kiinteästi liittyvät rakennuksiin, tulee olla CE-merkintä. Pakollisuus tulee Suomessa voimaan 1.7.2013, mutta hitsattuja teräs- ja alumiinirakenteita koskevan harmonisoidun tuotestandardin EN 1090 siirtymäajan vuoksi viimeinen takaraja pakollisuudelle on vasta vuotta myöhemmin eli 1.7.2014. Tämän päivämäärän jälkeen markkinoilla pelkästään Suomen sisälläkään ei saa siis olla CE-merkitsemättömiä rakennustuotteita. /2/

Asetuksen yhtenä tarkoituksena on siis helpottaa ja parantaa kaupankäynnin teknisiä esteitä, jotka aiheutuvat eri maiden erilaisista säädöksistä. Samanaikaisesti halutaan kuitenkin myös varmistaa ja parantaa tuotteiden turvallisuutta sekä selkeyttää valmistajien toimintatapoja. Näillä yhdenmukaisilla standardien antamilla toimintatavoilla turvallisuusasioiden hoitaminen selkiytyy ja yhtenäistyy huomattavasti kaikissa EU-maissa. Selkeillä toimintatavoilla myös yritysten toiminnan pitäisi samalla kehittyä. /1/

Pelkän hyödyn lisäksi asetus tuo kuitenkin samanaikaisesti myös monia uusia haasteita toiminnan ja valmistuksen toteuttamiseen. Vaatimusten täyttämiseksi yritysten tulee tarkistaa ja täydentää toimintansa kunkin tuotteen tuotestandardin vaatimusten mukaiselle tasolle. Enää laadun takeeksi ei riitäkään pelkkä toteamus ” että näin on aina tehty ja hyvin on kestänyt”. Enää ei myöskään riitä, että pelkästään tehdään vaatimusten mukaisia tuotteita, vaan tämä vaatimustenmukaisuus tulee myös pystyä osoittamaan erilaisten tarkastusten ja dokumenttien avulla. Näihin haasteisiin vastaaminen tulee myös Suomessa olemaan erittäin haastavaa monille hitsaaville teräksisten tuotteiden ja rakennekokoonpanojen valmistajille. Erityisen haastavaa tämä tulee olemaan pienille muutaman hengen yrityksille. Vaikka tuotteiden laatu olisi tähänkin päivään asti ollut kunnossa, enää pelkkä ”omilla toimintatavoilla” suoritettu toteutus ei ole tulevaisuudessa riittävä osoittamaan tätä laadukkuutta. /2/

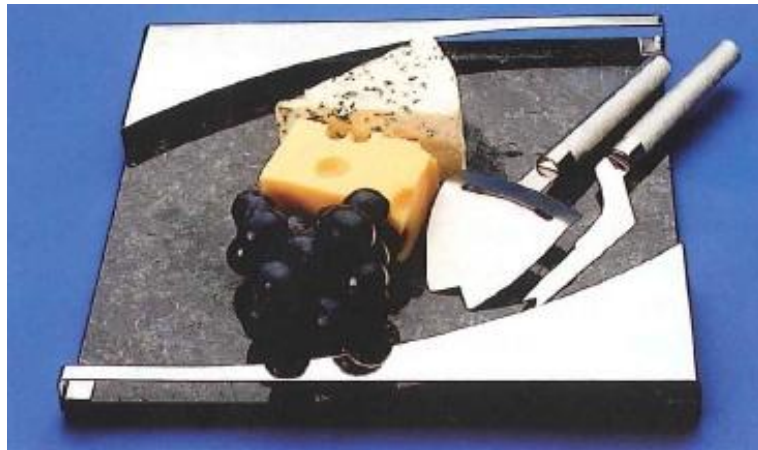
### 1.1 Työn tavoite ja rajaus

Lähtökohtana työlle toimi edellä mainittu rakennustuoteasetus, joka vaatii kaikkien markkinoilla olevien rakennustuotteiden olevan CE-merkittyjä. Tuotteiden CE-merkintäoikeus edellyttää harmonisoidun tuotestandardin noudattamista tuotteiden valmistuksessa. Työn tavoitteena oli selvittää ja käydä läpi näitä vaatimuksia hitsattujen teräksestä valmistettujen rakennustuotteiden kohdalla. Työssä keskitytään standardiin EN 1090, joka toimii teräs- ja alumiinirakenteiden toteuttamisen tuotestandardina. Rajauksena toimii, että työssä keskitytään tarkastelemaan näitä vaatimuksia ainoastaan teräksen osalta. Työssä ei käydä läpi standardin alumiiniin liittyvää kolmatta osaa EN 1090-3. Pääosin vaatimukset teräksellä ja alumiinilla ovatkin yhteneviä, toinen osa EN 1090-2 käsittelee vaatimukset huomioiden teräksen ominaisuudet ja kolmas osa huomioiden alumiinin ominaisuudet.

Toisena rajauksena toimii, että työssä keskitytään nimenomaan standardin EN 1090 tuomiin vaatimukseen hitsaustoiminnalle ja sen toteutukselle. Standardi antaa vaatimuksia yrityksen laadunhallintajärjestelmälle ja koko valmistusprosessin kaikille eri vaiheille, mutta tässä työssä ei siis käydä läpi vaatimuksia esimerkiksi esivalmistuksen, mekaanisen kiinnittämisen, asentamisen tai pintakäsittelyiden suhteen. Jo pelkästään hitsaustoiminnalle tulevat vaatimukset ja niiden oikeanlainen täyttäminen aiheuttavat muutoksia moniin Suomessa aikaisemmin yleisesti totuttuihin toimintatapoihin.

## 2 TERÄS JA SEN OMINAISUUDET

Terästä voidaan pitää tämän päivän tärkeimpänä käyttömetallina. Käyttökohteita teräkselle löytyy lukematon määrä, kuten kuvista 1 ja 2 näkyy, joten monia eri käyttötarkoituksia varten myös teräksiä valmistetaan ominaisuuksiltaan monia erilaisia. Esimerkiksi jossain käyttötarkoituksessa teräkseltä vaaditaan kovuutta ja kulutuksen kestoja, ja vastaavasti taas jossain toisessa kohteessa korroosionkestoa. Käytettävä teräslaatu tulee aina valita kulloisenkin tarpeen mukaisesti. /3/



**Kuva 1.** Terästä löytyy esimerkiksi keittiöstä. /3/



**Kuva 2.** Laivojen valmistuksessa terästä käytetään todella paljon. /3/

Terästä valmistetaan kahdella tapaa, joko rautamalmista jalostamalla tai kierrätysteräksestä uudelleen jalostamalla. Maailman terästuotannosta kaikkiaan arviolta noin 60 % valmistetaan rautamalmista ja loput 40 % kierrätysteräksestä. Kaikkiaan maailmassa terästä tuotetaan joka vuosi noin 1300 miljoonaa tonnia, joten kierrätyksen merkitystä malmivarantojen suhteen ei voida yhtään vähätellä. Rautamalmi saadaan luonnosta kaivamalla, jonka jälkeen siitä valmistetaan välituotteena raakarautaa. Tämän jälkeen sulasta raakaraudasta jalostetaan konvertertikäsittelyjen avulla terästä. Kierrätysteräksestä valmistettaessa teräkset aluksi sulatetaan ja jalostetaan jälleen tämän jälkeen käyttöön sopivaksi valokaariuunin avulla. Suomessa suuria teräksen valmistajia ovat Outokumpu, Ruukki ja Ovako. /3/

## 2.1 Teräksen metallurgia

Teräksen ominaisuudet riippuvat sen metallurgiasta. Metallurgiaan taas vaikuttavat teräksen kemiallinen koostumus sekä sen toimitustila, jotka molemmat määräävät sen millainen mikrorakenne teräksellä on. Teräksen mikrorakenteella on suora vaikutus teräksen mekaanisiin ominaisuuksiin. Kemiallinen koostumus kertoo sen mitä eri seosaineita teräs sisältää, joko tarkoituksella seostettuna tai epäpuhtauksina. Toimitustila tarkoittaa käytännössä erilaisia valmistukseen liittyviä tai erikseen tehtäviä lämpö- tai muokkauskäsittelyjä, jotka myös samalla vaikuttavat teräksen ominaisuuksiin. /4/

### 2.1.1 Teräksen kemiallinen koostumus

Teräs on raudan ja hiilen seos, joka sisältää pieniä määriä myös muita seosaineita. Terästen hiilipitoisuus on yleisesti alle 2,0 % ja kaikkia sitä suurempipitoisia seoksia nimitetään valurautoiksi. Muita teräksessä olevia yleisiä seosaineita ovat mangaani, nikkeli, pii, alumiini, kupari, kromi, molybdeeni, vanadiini ja wolframi. /3/

Hiilipitoisuudella on suora vaikutus teräksen ominaisuuksiin. Hiilipitoisuuden lisääminen parantaa teräksen lujuus-, kovuus- sekä karkenevuusominaisuuksia, mutta vastaavasti kuitenkin muovattavuus, iskutkeys sekä hitsattavuus heikkenevät hiilipitoisuuden kasvaessa. Hiilen merkitys kaikkiaan teräksen ominaisuuksiin on niin suuri, että teräksiä luokitellaan suoraan niiden hiilipitoisuuden perusteella. Eniten käytetään teräksiä, joiden hiilipitoisuus on alle 0,25 %. Tällaisia teräksiä kutsutaan niukkahiiliseksi teräksiksi. Kaksi muuta yleistä perusseosainetta ovat pii ja mangaani, joiden tarkoituksena on lujittaa terästä.

Tämän lisäksi niitä tarvitaan myös valmistusprosessin aikana. Pii toimii tehokkaana hapen sitojana sulakäsittelyn aikana ja mangaani taas sitoo epäpuhtauksiksi luokiteltavaa rikkiä sulasta teräksestä. /4/

Edellä olevien niin sanottujen perusseosaineiden lisäksi teräkseen seostetaan haluttujen ominaisuuksien mukaan myös muita seosaineita. Näiden yleisimpien käytettävien seosaineiden vaikutukset ominaisuuksiin on esitetty taulukossa 1. Tarkoituksella seostettujen seosaineiden lisäksi teräs sisältää aina kuitenkin myös epäpuhtauksiksi luokiteltavia seosaineita. Merkittävin niistä on jo edellä mainittu rikki, joka mm. lisää kuumahalkeilun riskiä sekä alentaa iskusitkeyttä. Tämän vuoksi lopulliseen seokseen jäävien epäpuhtauksien pitoisuuksille onkin asetettu ylärajat. /4/

*Taulukko 1. Eri seosaineiden vaikutus teräksen ominaisuuksiin. /5/*

Seosaine	Vaikutukset
Boori	Parantaa myötölujuenemisominaisuuksia, huonontamatta työstettävyyttä ja muovattavuutta.
Hiili	Parantaa myötölujuenemisominaisuuksia, lujuutta, kovuutta ja kulumiskestävyyttä, pienentää hitsattavuutta ja iskusitkeyttä.
Kromi	Parantaa myötölujuenemisominaisuuksia, kulumiskestävyyttä ja korroosionkestävyyttä sekä lujuutta korkeissa lämpötiloissa. Parantaa kovuutta paksuussuunnassa.
Kupari	Parantaa ilmastokorroosionkestävyyttä ja lisää hieman lujuutta vähentämättä juurikaan sitkeyttä. Vaikuttaa haitallisesti muokattavuuteen (raepuhallustyöstettyteen) ja pinnan laatuun.
Mangaani	Parantaa myötölujuenemisominaisuuksia, lujuutta, hankauskestävyyttä ja työstettävyyttä. Pelkistää sulan teräksen ja pienentää kuumakuroutumista. Huonontaa hitsattavuutta.
Molybdeeni	Parantaa myötölujuenemisominaisuuksia, kulumiskestävyyttä ja korroosionkestävyyttä, sitkeyttä, lujuutta korkeissa lämpötiloissa, virumiskestävyyttä ja kovuutta. Pienentää kuumahaurautta.
Nikkeli	Parantaa myötölujuenemisominaisuuksia, myötölujuenevuutta, lujuutta ja sitkeyttä sekä korroosionkestävyyttä.
Fosfori	Parantaa lujuutta ja myötölujuenemisominaisuuksia, parantaa korroosionkestävyyttä ja työstettävyyttä.
Pii	Parantaa lujuutta, kovuutta, korroosionkestävyyttä ja sähkönjohtavuutta. Pienentää magneettista hystereesihäviötä, työstettävyyttä ja kylmämuovautuvuutta.
Rikki	Parantaa työstettävyyttä yhdessä mangaanin kanssa, mutta alentaa iskusitkeyttä ja -kestävyyttä, huonontaa pinnan laatua ja hitsattavuutta.
Alumiini	Tiivistysaine sitoo happea ja typpeä, estää vanhenemista.
Niobi, vanadiini ja titaani (mikroseosaineita)	Nostavat lujuutta, käytetään mm hienoraeteräksissä.

### 2.1.2 Teräksen toimitustila

Kemiallisen koostumuksen lisäksi teräksen mikrorakenteeseen ja tätä kautta sen ominaisuuksiin voidaan vaikuttaa myös teräksen toimitustilalla. Eri seosaineita seostamalla vaikutetaan syntyvään mikrorakenteeseen, mutta myös toimitustilalla voidaan muokata teräksen mikrorakennetta ja ominaisuuksia halutunlaisiksi. Käytännössä toimitustila kertookin sen, onko teräkselle tehty jokin käsittely ominaisuuksien muokkaamiseksi. /4/

Yleisimpiä valmistukseen kuuluvia tai sen yhteydessä tehtäviä käsittelyjä ovat kuumavalssaus, monet erilaiset lämpökäsittelyt, kylmämuokkaus sekä erilaiset pintakäsittelyt. Yleisiä lämpökäsittelymenetelmiä ovat mm. normalisointi, nuorutus, pintakarkaisu sekä hehkutus. Näiden mainittujen lisäksi on olemassa monia muitakin ja monia erilaisia käsittelyjä, joilla teräksen ominaisuuksia voidaan muokata halutunlaisiksi. Tällaisia muita käsittelyjä ovat esimerkiksi termomekaaninen käsittely sekä suorakarkaisu. /3/

Juuri lämpökäsittelyiden vaikutus teräksen ominaisuuksiin tekee hitsauksesta kriittisen tapahtuman. Kaikissa sulahitsausmenetelmissä terästä samalla myös hieman lämpökäsittellään liittämisen sivutuotteena. Tämän vuoksi hitsaustapahtuman lämmöntuonnilla on erityinen merkitys lopullisen liitoksen ominaisuuksiin, koska siinä saatetaan vaikuttaa myös teräksen mikrorakenteeseen. /6/

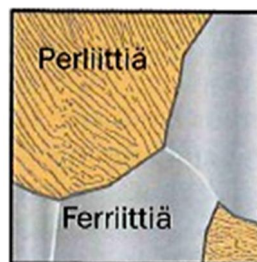
#### Kuumavalssaus ja normalisointi

Terästen lopullinen muokkaus valanteista tai aihioista käytettäväksi puolivalmisteiksi eli levyiksi, putkiksi, tangoiksi, profiileiksi tai langoiksi tehdään valssauksella. Valssauksessa teräkselle annetaan haluttu muoto kuljettamalla sitä kahden valssin välissä. Valssaus voidaan tehdä kuumavalssauksena tai kylmävalssauksena. Kuumavalssauksessa aihoiden muokkaus tapahtuu lämpötilassa 1050 – 1200 °C. Kuumavalssaus on helppo suorittaa, sillä korkean lämpötilan vuoksi teräksen vastus muodonmuutoksia vastaan on pientä. /7/

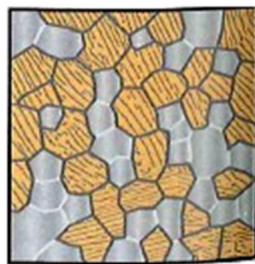
Kuumavalssatun teräksen raekoko on suuri ja osittain epähomogeeninen. Tästä johtuen pelkästään kuumavalssattujen terästen iskutkeysarvot eivät ole kovinkaan korkeita. Raekoko on erittäin merkittävä tekijä teräksen mekaanisten ominaisuuksien suhteen, jonka vuoksi rakenneteräksetkin on jaettu tavallisiin rakenneteräksiin sekä hienoraeteräksiin.

Korkeampia iskusitkeysarvoja haluttaessa kuumavalssatuille teräksille tehdäänkin normalisointikäsitteily, joka pienentää teräksen raekokoa ja tätä kautta parantaa sen sitkeysominaisuuksia. Normalisointi voidaan yhdistää myös valssaukseen, jolloin koko tapahtumaa voidaan kutsua normalisointivalssaukseksi. Tällöin teräkselle saadaan parempi pinnanlaatu kuin pelkällä tavallisella normalisoinnilla, sillä normalisointiheurituksen seurauksena teräksen pinta käy melko herkästi hilseilemään. /4/

Normalisoinnissa hyödynnetään teräksen kidemuodonmuutosta kuumentamalla teräs aluksi lämpötilaltaan austeniittiselle alueelle, jonka jälkeen sen annetaan vapaasti jäähtyä. Alun perin kuvassa 3 näkyvä karkearakeinen ferriittis-perliittinen rakenne on tämän jälkeen muuttunut kuvassa 4 näkyväksi hienorakeiseksi ferriittis-perliittiseksi rakenteeksi. /3/



**Kuva 3.** Normalisointia edeltävä karkearakeinen ferriittis-perliittinen mikrorakenne. /3/



**Kuva 4.** Normalisoinnin jälkeinen hienorakeinen ferriittis-perliittinen mikrorakenne. /3/

#### Kylmävalssaus ja kylmänä muokkaaminen

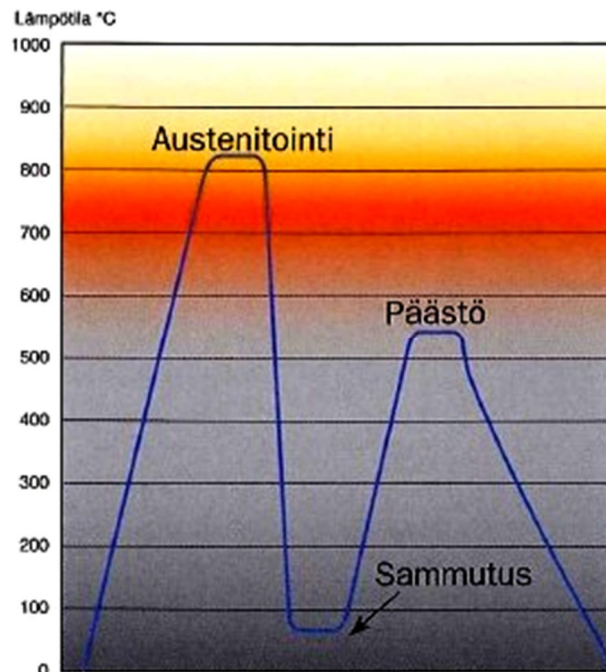
Teräksiä voidaan muokata myös kylmänä haluttujen ominaisuuksien aikaansaamiseksi. Kuten aikaisemminkin mainittiin, myös valssaus voidaan suorittaa kylmävalssauksena. Kylmämuokkauksella vaikutetaan teräksen lujuusominaisuuksiin. Kylmämuokkauksessa teräksen lujuuden alkuperäinen myötöraja ( $R_{eH}$ ) ja myötöalue muuttuvat. Kylmämuokatun teräksen lujuuden arvioinnissa myötörajan tilalla käytetäänkin 0,2 % -rajaa ( $R_{0,2}$ ), joka

kuvaa 0,2 %:in venymää vastaavaa lujuutta. Tämä tapahtuu, kun terästä kuormitetaan myötörajan yläpuolelle, mutta ei kuitenkaan murtumisrajalle asti. Teräksen muoto palautuu materiaalin kimmokertoimen mukaisesti jännityksettömään tilaan, jättäen jäljelle muokkauksen aiheuttaman pysyvän muodonmuutoksen. Yleisimmin kylmämuokkausta tehdään, kun kuumavalssattuja levyjä kylmävalssataan tai valmistetaan teräslankoja kylmänä vetämällä. /5/

#### Nuorutus ja karkaisu

Nuorutuskäsittely tarkoittaa, että teräs ensin karkaistetaan ja tämän jälkeen sille suoritetaan päästökäsittely. Nuorutusta tehdään ainoastaan siihen tarkoitetuille nuorutusteräksille. Nuorutusteräokset ovat kemialliselta koostumukseltaan erilaisia verrattuna tavallisimpiin rakenneteräksiin. Nuorutusterästen mikrorakenne on lujaa ja sitkeää päästömartensiittia. /4/

Nuorutuksessa teräs aluksi karkaistetaan lujuuden ja kovuuden parantamiseksi kuumentamalla se nopeasti austeniittiselle lämpötila-alueelle sekä sammuttamalla se tämän jälkeen nopeasti veteen, öljyyn tai ilmaan. Tällöin austeniittinen mikrorakenne muuttuu kovaksi martensiittiseksi mikrorakenteeksi. Välittömästi sammutuksen jälkeen sitkeysominaisuuksien parantamiseksi karkaisun jälkeen teräkselle suoritetaan päästökäsittely, jossa terästä kuumennetaan uudelleen. Mitä korkeampaan lämpötilaan päästökuumennus tehdään, sitä enemmän teräksen lujuus ja kovuus alenevat karkaisussa saadusta, mutta vastaavasti sitkeys paranee. Sopivalla päästölämpötilalla saadaankin säädelyä lujuudelle ja kovuudelle sekä sitkeydelle sopiva yhdistelmä aina tarpeen mukaan. Kuvassa 5 on esitetty nuorutuksen karkaisun ja päästön kuumennusten sekä jäähdytysten periaatekuva. /3/



**Kuva 5.** Nuorrutuksen periaate. /3/

Karkaisulla teräksestä saadaan ominaisuuksiltaan kovaa, mutta ei sitkeää. Pintakarkaisua käytetään, kun teräksen pinnasta halutaan saada erittäin kovaa, mutta teräksen sisäpuoli halutaan kuitenkin jättää sitkeäksi. Pintakarkaisu suoritetaan nimensä mukaisesti siten, että ainoastaan teräksen pinta kuumennetaan ja tämän jälkeen jäähdytetään nopeasti esimerkiksi vaikkapa vesisuihkulla. Pinnan kuumentaminen voidaan toteuttaa useammalla eri tavalla. /3/

Hehkutuksia teräksille voidaan tehdä useammasta eri syystä. Pehmennyshehkutus tehdään, kun teräkselle halutaan pehmeä mikrorakenne esimerkiksi lastuamista tai kylmämuokkausta varten. Pehmennyshehkutus kannattaa tehdä etenkin seosteräksille, sillä niistä tulee pelkästään ilmassakin jäähtymällä riittävän kovia vaikeuttamaan lastuttavuutta. Vähähiilisiä teräksiä ei juurikaan tarvitse hehkuttaa, mutta yli 0,5 % hiiltä sisältävät teräkset kuumavalssattuina tai normalisoituina kannattaa myös hehkuttaa. Sitä hyödyllisempää hehkutus on, mitä suurempi hiilipitoisuus teräksellä on. /8/

Toinen yleinen tehtävä hehkutus on jännitystenpoistohehkutus eli myöstö. Siinä tavoitteena nimensä mukaisesti on poistaa teräksessä olevia sisäisiä jännityksiä vaikuttamatta kuitenkaan teräksen mikrorakenteeseen ja ominaisuuksiin. Tämä tehdään kuumentamalla

ja pitämällä terästä austenitoitumislämpötilan alapuolella tunnista kahteen tuntiin, jonka jälkeen jäädytys tehdään riittävän hitaasti uusien jännitysten syntymisen ehkäisemiseksi. Myöstöä käytetään usein esimerkiksi hitsauksen aiheuttamien jännitysten vähentämiseksi. /8/

## 2.2 Teräslaadut

Teräslaatuja on olemassa monia erilaisia, jotka eroavat toisistaan muodoltaan, ominaisuuksiltaan ja kemialliselta koostumukseltaan. Teräslajien luokitteluun on olemassa monia eri perusteita. Teräkset voidaan jakaa eri ryhmiin /8/:

- muotonsa
- käyttötarkoituksensa
- käyttöominaisuutensa
- kiderakennetyyppinsä tai
- päällysteensä perusteella.

Usein käytetty luokittelu perustuu suoraan teräksen kemialliseen koostumukseen. Tämä luokittelutapa ei ota kuitenkaan millään tapaa kantaa esimerkiksi teräksen muotoon, joten pelkästään sen perusteella tehty luokittelu ei ole varmasti kaikille käyttäjille riittävä. Kemiallisen koostumuksen perusteella teräkset jaetaan viiteen eri ryhmään, jotka ovat /8/:

- seostamattomat rakenneteräkset
- niukkaseosteiset rakenneteräkset
- runsasseosteiset rakenneteräkset
- seostamattomat työkaluteräkset ja
- seostetut työkaluteräkset.

Näistä ryhmistä rakenneteräkset ja työkaluteräkset erottaa niissä oleva hiilen määrä. Perinteisen ajattelutavan mukaan alle 0,6 % hiiltä sisältävät teräkset ovat rakenneteräksiä, ja sitä suurempipitoiset taas työkaluteräksiä. Tähänkin rajaan on kuitenkin olemassa poikkeuksia, sillä esimerkiksi rakenneosiksi luokiteltavien moottorin jousien hiilipitoisuus on työkaluterästen alueella. /8/

Seostamattoman ja seostetun teräksen rajaa on vaikea vetää täysin yksiselitteisesti yhteen tiettyyn kohtaan. Vaikka puhutaan seostamattomista teräksistä, sisältävät nekin vähäisiä

määriä mangaania, kromia, nikkeliä ja kuparia. Näitä ei tällöin kuitenkaan, puhuttaessa seostamattomista teräksistä, seosteta valmistuksen yhteydessä tarkoituksella muokkaamaan teräksen ominaisuuksia, vaan ne tulevat teräkseen sen raaka-aineiden mukana. Ja tämän lisäksi on olemassa myös aineita, joita teräksiin seostetaan, mutta niitä ei kuitenkaan kutsuta varsinaisiksi seosaineiksi. Tällaisia ovat esimerkiksi pii ja alumiini, sekä rikin haittavaikutuksia vähentävä mangaani. Vaikka puhutaan seostamattomista teräksistä, sisältävät nekin aina joitain seosaineita. Standardin mukaisesti näille pitoisuuksille on kuitenkin asetettu ylärajoja, jotta jonkinlainen rajanveto saadaan tehtyä. /8/

Erona niukkaseosteisille ja runsasseosteisille teräksille pidetään tarkoituksella seostettujen aineiden osuutta teräksen koostumuksesta. Terästä pidetään runsasseosteisena, mikäli siihen tarkoituksella seostettujen seosaineiden määrä ylittää 5 %. Puhuttaessa runsasseosteisista teräksistä, tarkoitetaan sillä melko usein ruostumattomia teräksiä, mutta tähän ryhmään kuuluvat myös esimerkiksi tulenkestävät teräkset ja kovamangaaniteräkset. /8/

Edellisen kemiallisen koostumuksen pohjalta tehdyn jaon lisäksi luokittelu voidaan tehdä puhtaasti ominaisuuksien ja käyttökohteen perusteella. Tällöin jaottelu tapahtuu taulukon 2 mukaisesti. /9/

*Taulukko 2. Terästen luokittelu ominaisuuksien ja käyttötarkoituksen mukaan. /9/*

Teräs(laatu)	Käyttöalue	Ominaisuudet
Rakenneteräkset	Rakenteet kuten portaat, kaiteet, hallit, runkorakenteet, säiliöt	Hitsattavuus, muovattavuus, taatut lujuusominaisuudet
Työkaluteräkset	Työkalut kuten terät, meistit, puristintyökalu	Karkaistavuus, kulutuskestävyys
Ruostumattomat teräkset	Rakenneosat, joilta vaaditaan hyvää korroosiokestävyyttä kuten säiliöt, putket, julkisivut	Korroosionkestävyys, kiilloitettavuus

Kuten edellä olevasta luokittelusta ja taulukosta voidaan päätellä, niin tähän työhön liittyen, kolmesta yllä olevasta ryhmästä rakennustuotteissa käytetään rakenneteräksiä sekä ruostumattomia teräksiä. Työkaluteräksiä käytetään nimensä ja ominaisuuksiensa mukaisesti erilaisten työkalujen valmistukseen. Rakenneteräket sopivat yleisesti moniin eri käyttötarkoituksiin teräsrakentamisessa ja ruostumattomia teräksiä käytetään, kun käyttökohde vaatii korroosionkestoa ja tyylikästä kirkasta ulkoasua. /9/

### 2.2.1 Rakenneteräket

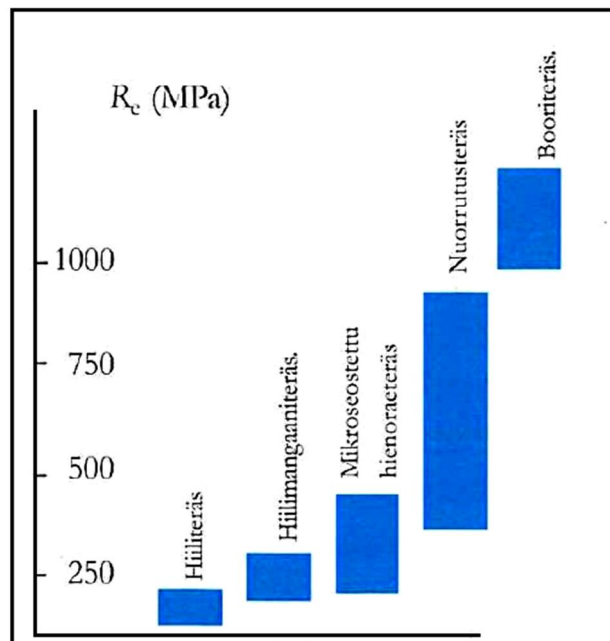
Yleisin käytettävä teräslaatu erilaisissa niin sanotuissa normaaleissa teräsrakenteissa ovat rakenneteräket. Usein puhuttaessa rakenneteräksistä käytetään niistä konepajaympäristössä nimeä ”mustat teräket”. Tavallisten rakenneterästen hiilipitoisuus on melko alhainen ja ne ovat sitkeitä ja hitsattavuudeltaan hyviä. Matalan hiilipitoisuuden omaavien terästen lujuusominaisuudet eivät kuitenkaan ole kovinkaan hyviä, eikä hiilipitoisuutta voida mielin määrin käydä nostamaan hitsattavuuden kustannuksella. Rakenneteräksiä voidaan kuitenkin valmistaa myös monilla eri lujuuksilla seosaineita ja lämpökäsittelyjä hyödyntäen, joten myös todella korkean lujuusarvon sekä samalla hyvän hitsattavuuden omaavia rakenneteräksiä on myös olemassa. /7/

Juuri ominaisuuksien ja seostuksen perusteella rakenneteräket voidaankin jakaa useampaan eri luokkaan, jotka ovat /7/:

- hiiliteräket
- hiilimagnaaniteräket
- mikroseostetut hienoraeteräket
- nuorrutusteräket ja
- booriteräket.

Hiiliteräket ovat seostamattomia teräksiä, joiden ominaisuudet riippuvat suoraan niiden hiilipitoisuudesta. Matalahiilisinä ne ovat sitkeitä ja hyvin hitsattavia, mutta lujuusarvoiltaan heikkoja. Hiilipitoisuutta nostamalla lujuutta saadaan kyllä nostettua, mutta samalla huononnetaan hitsattavuutta, kuten edellä jo mainittiin. Tämän vuoksi parempaa lujuutta haluttaessa teräkseen täytyy seostaa muita seosaineita, kuten mangaania lujuutta nostamaan. Edelleen lujuutta nostamaan teräkseen voidaan seostaa alumiinia, titaania, niobia ja vanadiinia. Näiden seosaineiden avulla saadaan teräksen mikrorakennetta

hienonnettua ja sitä kautta myös sen lujuutta nostettua. Vielä tätäkin korkeampia lujuuksia haluttaessa pelkkä seostaminen ei enää riitä, vaan teräkselle täytyy tehdä myös lämpö- ja muokkauskäsittelyjä. Tällaisia teräksiä ovat esimerkiksi nuorrutus- ja booriteräkset sekä termomekaanisesti käsitellyt teräkset. Kuvassa 6 on esitetty näiden eri rakenneterästyypien myötörajojen lujuusalueet. /7/



**Kuva 6.** Erilaisten rakenneterästen lujuusarvojen keskimääräiset suuruudet. /7/

### 2.2.2 Ruostumattomat teräkset

Ruostumattomia teräksiä, eli konepajatermein tunnettuja ”kirkkaita teräksiä”, käytetään teräsrakenteissa nimensä mukaisesti silloin, kun käyttökohteelta vaaditaan hyvää kestävyyttä korroosiota vastaan. Ruostumattomia teräksiä on mikrorakenteeltaan useita erilaisia. Ne voidaankin mikrorakenteensa perusteella jakaa neljään eri pääryhmään, jotka ovat /7/:

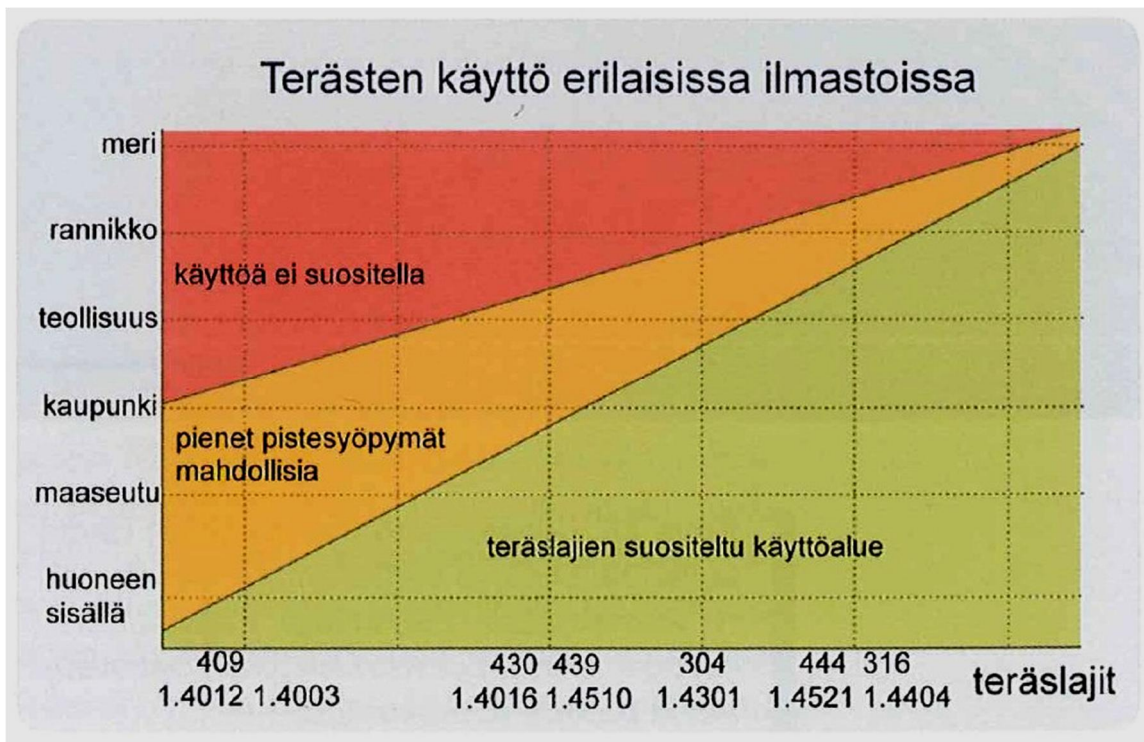
- austeniittiset
- ferriittiset
- martensiittiset sekä
- ruostumattomat duplex-teräkset.

Kaikkien ryhmien korroosionkestävyys perustuu kromin ja hapen ansiosta teräksen pinnalle muodostuvaan tiiviiseen oksidikalvoon. Kalvo on todella ohut ja se myös voi

vahingoittua melko helposti pinnalle kohdistuvan mekaanisen kuormituksen seurauksena. Kalvo on kuitenkin myös itseksensä uusiutuva, kun pinta reagoi yhdessä hapen kanssa. Uusiutuminen edellyttää, että teräksen kromipitoisuus on vähintään 11 - 12 %, sekä käyttöympäristön pitää luonnollisesti olla myös hapettava. /7/

Edellä mainituista neljästä ruostumattoman teräksen ryhmästä yleisin ja eniten käytetty ryhmä ovat austeniittiset ruostumattomat teräkset. Niissä ilman seostusta huoneenlämmössä oleva ferriittinen rakenne muuttuu nikkelseostuksen avulla austeniittiseksi mikrorakenteeksi. Kaikkein tunnetuin ja käytetyin tämän ryhmän teräslaatu on eurooppalaisen standardin nimikettä käyttäen EN 1.4301. Amerikkalaisen materiaalistandardin mukaan sama laatu tunnetaan nimellä AISI 304. Toinen tunnettu saman ryhmän ruostumaton teräslaatu, johon on edelliseen verrattuna molybdeenin seostuksella parannettu myös haponkestävyyttä, on EN 1.4401/1.4404 (AISI 316/316L). Jälkimmäisen amerikkalaisen nimikkeen perässä oleva L-kirjain tarkoittaa vähähiilisyyttä (low carbon) /10/

Erilaisia käyttökohteita, joissa korroosionkestoa tarvitaan, ovat esimerkiksi rakennusten julkisivuihin tulevat erilaiset teräsrakenteet, kuten verhoilulevyt, suojakaiteet sekä kulkutasot. Samoin rakennusten sisälle tulevilta vastaavilta rakenteilta vaaditaan joissain käyttökohteissa korroosionkestoa, joten päädytään käyttämään ruostumatonta terästä. Käyttöympäristö vaikuttaa suuresti siihen, mitä ruostumatonta teräslaatua kannattaa käyttää. Normaalisissa sisäilmastossa tai maaseutu ympäristössä edellä mainittu EN 1.4301 sopii hyvin käytettäväksi, mutta mentäessä kaupunki- tai teollisuusympäristöön kannattaa silloin materiaali vaihtaa esimerkiksi haponkestävämpään laatuun EN 1.4404. Kuvassa 7 on esitetty näitä eri ruostumattomien teräslaatuja soveltuvuuksia eri käyttöympäristöihin. /10/



**Kuva 7.** Erilaisten ruostumattomien terästen soveltuminen erilaisiin käyttöympäristöihin. /10/

Monissa eri käyttökohteissa, kuten julkisivuissa, on ympäristön rasitusten sietämisen lisäksi materiaalin pinnan ulkonäöllä suuri merkitys. Ruostumattomat teräkset tarjoavat tämän suhteen monenlaisia eri vaihtoehtoja kulloisenkin tarpeen mukaan. Pinta voidaan tarpeen mukaan tehdä mattapintaisesta aina peilimäiseen pintaan asti. Lisäksi voidaan käyttää värjäyksiä tai lisätä valssauksen yhteyteen pinnalle tehtävä erityinen valssauskuviointi. Juuri tyylikkään ja kirkkaan ulkonäön vuoksi ruostumattomia teräksiä kutsutaan ”kirkkaiksi teräksiksi”. /10/

### 2.3 Teräksen ominaisuudet

Teräksestä voidaan sanoa, että se on ominaisuuksiltaan materiaali, joka vastaa käyttäjien tarpeita. Sen ominaisuudet ovat sopivia monenlaisiin vaativiin kohteisiin, niin konepajakuin rakennustuotteissakin. Teräslaatuja löytyy kattava valikoima erilaisilla ominaisuuksilla. Yleisesti teräksen käyttöön erilaisissa rakenteissa liittyviä tärkeimpiä ominaisuuksia ovat /11/:

- lujuus
- sitkeys

- hitsattavuus
- muovattavuus sekä
- korroosionkestävyys.

### 2.3.1 Lujuus

Teräksen tärkein ja suurin syy sen käytölle rakentamisessa on varmasti sen lujuus. Lujuutensa ansiosta teräs on korkeaa lujuutta vaativissa kohteissa huomattavasti puuta ja betonia parempi vaihtoehto. Kunkin teräslaadun lujuus riippuu sen seosaineista sekä toimitustilasta, kuten kaikki muutkin mekaaniset ominaisuudet. Teräksen lujuus testataan vetokokeella, joka kertoo teräksen ylemmän myötörajan ( $R_{eH}$ ), murtolujuuden ( $R_m$ ) sekä murtovenymän ( $A_5$ ). Myötörajan tilalla voidaan tietyissä tapauksissa, kuten esimerkiksi edellä olevassa kylmämuovaus-kappaleessa kerrotaan, käyttää myös 0,2-rajaa ( $R_{0,2}$ ). Suunnittelussa rakenteiden kestävyuden arvioinnissa ja laskennassa näistä tarpeen mukaan hyödynnetään siis joko myötörajaa tai 0,2-rajaa. /11/

### 2.3.2 Iskusitkeys

Iskusitkeys itsessään ei ole pelkkä suora materiaaliominaisuus, vaikka siihen suoraan vaikuttavia tekijöitä ovat teräksen kemiallinen koostumus, raekoko, aineenpaksuus, mahdolliset lämpökäsittelyt sekä mahdolliset kylmänä tehtävät muovaukset. Tämän lisäksi siihen vaikuttavat kuitenkin myös rakenteen mitat ja iskukuorman muuttumisnopeus sekä käyttölämpötila. Erityisesti lämpötilan takia iskusitkeyden huomioiminen onkin erityisen tärkeää hitsatuissa rakenteissa. Kuten on jo monta kertaa todettu, lujuuden nostaminen usein heikentää suoraan teräksen sitkeysominaisuuksia. /11/

Iskusitkeyttä testataan sitä varten suunnitellulla iskusitkeys-kokeella, joka tehdään standardoidulla Charpy-vasaralla. Koe suoritetaan iskemällä vasaralla koetta varten valmistettua koesauvaa, jonka muoto on myös standardoitu. Iskun perusteella tuloksena saadaan mitattua sauvaan siirtynyt mekaaninen energiamäärä. /11/

Kuten jo todettiin, on lämpötilalla suuri merkitys teräksen iskusitkeyteen. Tämän vuoksi iskukokeita on tehtävä erilaisissa lämpötiloissa. Samoin on testejä tehtävä materiaalin eri kohdista, jotta voidaan havaita milloin materiaalin käyttäytyminen muuttuu sitkeästä hauraaksi. Rakenteiden suunnittelussa iskusitkeyden voidaankin periaatteessa sanoa

kuvaavan teräksen kylmänkestävyyttä ja lämpötilaa, johon teräs suunnitellaan käyttökohteessaan. /11/

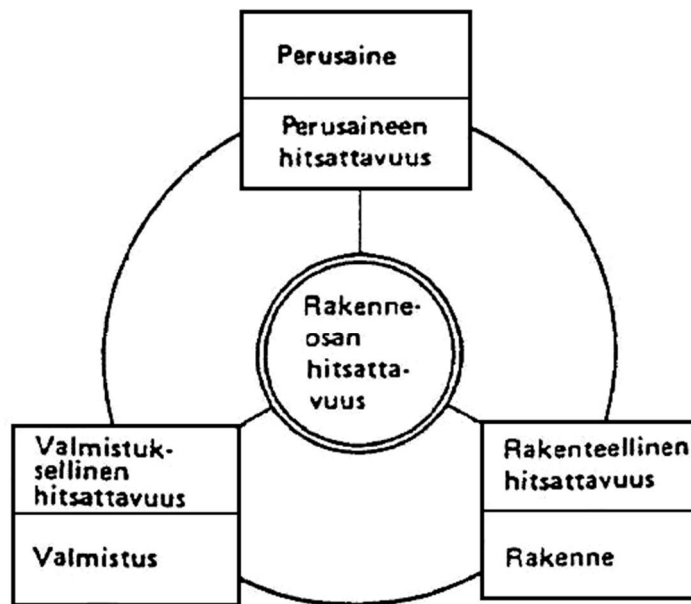
### 2.3.3 Hitsattavuus

Lujuuden ohella teräksen vahvuutena muihin materiaaleihin on sen hitsattavuus. Hitsaamalla rakenteisiin voidaan tehdä luotettavia, lujia, kaikkiin suuntiin rasituksia kestäviä sekä pieneen tilaan mahtuvia liitoksia. Valitulla teräslaadulla on erittäin suuri merkitys hitsattavuuteen. /4/

Teräksen voidaan sanoa olevan hitsattavuudeltaan hyvä, kun onnistuneen hitsausliitoksen tekeminen on helppoa ja sen toteuttamiseksi tarvittavan menetelmän sekä lisäaineen valitseminen eivät ole rajoiltaan tiukkoja. Mitä tiukempaa valintojen tekeminen on, sitä huonompaa voidaan pitää myös hitsattavuutta. Huonoimmillaan hitsattavuus on tietenkin silloin, kun hitsaus ei ole lainkaan mahdollista. /6/

Kaikkiaan eri tuotteiden tai rakenteiden hitsattavuus voidaan jakaa kolmeen eri osaan, jotka näkyvät kuvassa 8 /6/:

- perusaineen hitsattavuus
- rakenteellinen hitsattavuus ja
- valmistuksellinen hitsattavuus.



**Kuva 8.** Yksittäisen rakenneosan hitsattavuuden eri osat ja niihin vaikuttava tekijä. /6/

Kaikki näistä eivät ole täysin suoria teräksen ominaisuuksista riippuvia asioita, mutta lopulliseen hitsauksen suorittamiseen niillä kaikilla on merkitystä. Näistä perusaineen hitsattavuus on tietenkin suora materiaaliominaisuus, joka on riippuvainen materiaalin koostumuksesta sekä toimitustilasta. Rakenteellinen hitsattavuus riippuu rakenteen muotoilusta ja siinä olevista eri jännitystilastoista. Valmistuksellinen hitsattavuus taas kuvaa sitä kuinka haastavaa itse valmistuksen suorittaminen on. Siihen liittyvät myös kaikki mahdolliset tarvittavat esivalmistelut ja jälkikäsittelyt. /6/

Perusaineen kohdalla suorina arviointiperusteina hitsattavuuden arviointiin voidaan pitää taipumusta /4/:

- kuumahalkeamiin
- kylmähalkeamiin sekä
- hitsin eri vyöhykkeiden sitkeysarvojen alenemiseen.

Kuumahalkeamia hitsiin aiheuttaa epäpuhtauksien suotautuminen. Suotautumista tapahtuu, mikäli epäpuhtauksien määrät materiaalissa ovat korkeita ja hitsisula on muodoltaan jähmettymiselle epäedullinen. Puhuttaessa standardoiduista normaaleista rakenneteräksistä,

on niiden epäpuhtauspitoisuuksille annettu standardeissa ylärajat, joten kuumahalkeamia esiintyy niiden kohdalla hyvin harvoin. /4/

Kylmähalkeamia hitsiin aiheuttavat sulaan teräkseen päässyt vety, liitokseen muodostuneet kovat ja hauraat vyöhykkeet, sekä rakenteeseen mahdollisesti syntyvä korkea jännitystila, joka on syntynyt hitsin kutistumisen seurauksena. Vedyn aiheuttajana toimii kosteus. Kosteutta hitsiin voi päästä ympäristöstä, kosteista lisäaineista tai kosteasta perusaineesta. Kylmähalkeilua saadaan siis ehkäistyä oikeanlaisella lisäaineiden säilytyksellä sekä hitsaustapahtuman suojaamisella. /4/

Kovien vyöhykkeiden syntymisherkkyyttä voidaan kuvata karkenevuudella. Karkenevuutta taas voidaan rakenneterästen kohdalla arvioida hiiliekvivalenttiarvolla. Hiiliekvivalenttiarvon laskemiseen on olemassa omat standardoidut laskentakaavansa. Laskennalla saatu arvo kertoo materiaalin oletettavan karkenevuuden. /4/

#### 2.3.4 Muovattavuus

Teräksen muovattavuus riippuu suoraan sen hiilipitoisuudesta. Pääasiallisesti teräs on sitä paremmin muovattavaa, mitä vähemmän se sisältää hiiltä. Erityisesti hiilipitoisuus vaikuttaa teräksen kylmämuovaukseen, mutta vaikutusta on myös kuumamuovauksen suorittamiselle. /8/

Tärkeää on ymmärtää, että hyvä muovattavuus ei kuitenkaan suoraan tarkoita, että teräs olisi helposti muovattavaa pieniä voimia käyttäen. Hyvä muovattavuus tarkoittaa paremminkin sitä, että teräs kestää repeämättä ja säröilemättä, vaikka siihen tehtäisiin isojaakin muodonmuutoksia suuriakin voimia käyttäen. Periaatteessa muovattavuus ei siis välttämättä kuitenkaan kulje lujuuden kanssa suoraan rinnakkain. /8/

#### 2.3.5 Korroosionkestävyys

Eräs tärkeä ominaisuus monissa käyttökohteissa, joissa terästä käytetään, on korroosionkestävyys. Niin sanotut ”tavalliset” teräkset ruostuvat kosteassa ympäristössä ilman suojaavaa pintakäsittelyä. Tällaisia kohteita varten onkin olemassa ruostumattomia teräksiä. /4/

Kuten jo aikaisemmassa ruostumattomia teräksiä käsittelevässä kappaleessa kerrotaan, ruostumattomien terästen korroosionkestävyys syntyy niiden korkeasta kromipitoisuudesta. Korkean kromipitoisuuden ansiosta teräksen pinnalle muodostuu ohut suojaava oksidikalvo, joka suojaa terästä korroosionvaikutuksilta. Kromin lisäksi muita korroosionkestoa parantavia seosaineita ovat nikkeli ja molybdeeni. /7/

### 3 TERÄKSEN KÄYTTÖKOHTEET RAKENTAMISESSA

Teräs on todella yleinen materiaali erilaisissa rakennustuotteissa ja rakenteissa. Monipuolisten ominaisuuksiensa ansiosta teräs sopii hyvin esivalmistukseen ja siitä valmistetut runkorakenteet voidaan tarpeen mukaan suunnitella mittasuhteiltaan pieniksi. Lisäksi teräs soveltuu myös erinomaisesti käytettäväksi yhdessä muiden materiaalien kanssa. Myös ympäristön puolesta teräs on hyvä käyttömateriaali, sillä sitä voidaan helposti kierrättää ja uudelleen käyttää. Terästä käytetäänkin materiaalina muun muassa erilaisissa hallirakennuksissa, kuten kuvassa 9 ja monien muidenkin rakennusten runkorakenteissa sekä erilaisissa siltarakenteissa, kuten kuvassa 10. /12/



**Kuva 9.** Teräksinen ristikkorakenne hallirakennuksen kattorakenteessa. /12/



**Kuva 10.** Hitsaamalla valmistettu ristikkopalkki siltarakenteessa. /12/

### 3.1 Hallirakennukset

Erilaiset hallirakennukset ovat eräs erittäin suuri käyttökohde teräsrakenteille. Hallirakennuksia tarvitaan moniin eri käyttötarkoituksiin, kuten teollisuus- ja varastorakennuksina, urheiluhalleina, suurina tavarataloina, sekä maataloushalleina. Käyttökohteesta riippuen halliin riittää, joko kevyt teräksinen kattorakenne, tai sitten tarvitaan kokonaan raskaampi teräksinen runkorakenne. Esimerkiksi pelkkiin varastohalleihin riittää yleensä kevyempi kattorakenne. Vastaavasti erilaisiin teollisuus- ja tuotantohalleihin tarvitaan raskaampi ja kestävämpi rakenne, esimerkiksi nosturien käyttöä varten. /12/

Suurin menoerä rakennuskustannuksissa syntyy lähes aina työkustannuksina. Tämän vuoksi ei yksinkertaisissa rakenteissa olekaan järkevää käyttää liikaa ylimääräistä aikaa liian monimutkaiseen rakenteiden suunnitteluun, jolla voitaisiin mahdollisesti vähän säästää materiaalikustannuksissa. Järkevin vaihtoehto onkin pyrkiä suunnittelemaan mahdollisimman yksinkertaisia rakenteita, jotka täyttävät kohteelle asetetut kestävyysvaatimukset, sekä joiden valmistaminen ja asentaminen ovat samanaikaisesti yksinkertaista toteuttaa. /12/

### 3.2 Rakennusten runkorakenteet

Hallirakennusten lisäksi teräsrakenteita käytetään monien muidenkin rakennusten runkorakenteissa. Tällaisia monikerroksisia rakennuksia ovat esimerkiksi toimistorakennukset, hotellit, sairaalat sekä asuintalot. Runkorakenteissa terästä hyödynnetään muun muassa /12/:

- pilareissa ja palkeissa
- välipohjaelementeissä
- seinissä ja katoissa
- julkisivuissa.

Teräksiset runkorakenteet valmistetaan pääasiassa pilareista ja palkeista. Valmistuksessa käytettävät valmiit profiilit ovat joko suoraan teräsvalmistajilta saatavia standardiprofiileja tai tietyissä kohteissa myös erikoisvalmisteisia profiileja. Yleisesti käytetään kuuma- tai kylmävalssattuja profiileja, ohutlevyprofiileja, rakenneputkia sekä hitsattuja profiileja. Konepajalla näitä profiileja leikataan, stanssataan, taitetaan ja hitsataan tarpeen mukaan, jotta saadaan tarvittavia rakenteiden osia, jotka lopullisesti sitten kootaan ja pystytetään rakennuspaikalla. /12/

### 3.3 Sillat

Eräs näkyvä käyttökohde rakentamisessa teräkselle ovat myös erilaiset sillat. Siltoja on olemassa monenlaisia ja monia eri käyttötarkoituksia varten. Käyttötarkoituksensa perusteella niitä on jalankulkijoille, autoille ja junille. Rakenteensa perusteella ne voidaan jaotella palkki-, kaari ja kaapelisiltoihin. /12/

Erilaisia palkkisiltatyyppejä ovat liittopalkkisillat, palkkisillat teräsajoradalla sekä ristikkosillat. Liittopalkkisilta koostuu teräspalkkien muodostamasta rungosta, jonka päälle tehdään betoninen kansilaatta. Teräspalkit ja kansilaatta kytketään toisiinsa, niin tiivistä, että ne toimivat yhtenäisenä kuormaa kantava kokonaisuutena. Tämä on taloudellinen ja sitä kautta myös yleisin tapa rakentaa maantiesilloja. Toisena vaihtoehtona on käyttää palkkisiltaa, jossa myös päällisosio eli ajorata valmistetaan teräksestä. Tällöin sillasta saadaan jäykempi pituussuunnassa kuin poikittaissuunnassa. Tällaisen sillan rakentaminen on huomattavasti kalliimpaa verrattuna liittopalkkisiltoihin. Tämän vuoksi tätä siltatyyppeä käytetäänkin ainoastaan silloin, kun tarvitaan kevyttä siltarakennetta, kuten esimerkiksi

avattavaa siltaa. Sillan jännevälien ollessa suuria käytetään rakenteena ristikkosiltaa. Pitkän jännevälin vaatimat raskaat pääpalkit saadaankin korvattua ristikkorakenteella, jolloin sillan painoa saadaan huomattavasti kevennettyä. /12/

Siltoja voidaan rakentaa myös hyödyntämällä kaarimuotoa. Kaarimuotoa voidaan hyödyntää erityisesti pitkän jännevälin omaavissa silloissa. Kaarimuotoa hyödyntämällä kannettava kuorma muodostaa rakenteelle pääasiassa ainoastaan puristavaa painetta, kuormituksen liikkumisesta aiheutuvaa momenttirasitusta lukuun ottamatta. Kaarisilta voidaan toteuttaa siten, että kulkuväylä kulkee joko kaarien päällä tai niiden välissä. Myös kaaren muodostamisessa voidaan hyödyntää ristikkorakennetta. /12/

Terästä hyödynnetään myös kaapelisilloissa. Kaapelisiltoja on olemassa kahta eri tyyppiä, jotka ovat vinoköysisilta ja riippusilta. Niissä molemmissa teräksisiä vajereita hyödynnetään tukemaan ja ottamaan vastaan sillalla olevia kuormituksia varsinaisen kulkutason lisäksi. /12/

### 3.4 Kaiteet, huoltotasot ja portaat

Teräs on erittäin käytetty materiaali myös rakennusten yksinkertaisissa niin sanotuissa varustelurakenteissa, eli portaissa ja kaiteissa sekä erilaisissa tehtaiden huoltotasoissa. Teräksen ominaisuuksien ansiosta porrarakenteista tai huoltotasoista pystytään tekemään kevyitä ja ilmavia, mutta silti kantavuudeltaan kestäviä ja turvallisia rakenteita. Porrarakennelma voidaan toteuttaa käyttökohteen tarpeen mukaisesti joko suorana portaikkona tai kierreportaikkona. Portaikot sekä monet muutkin kantavat tasot vaativat lähes aina turvallisuuden vuoksi myös kaiteita. Teräs sopii tähän käyttötarkoitukseen erinomaisesti. Siitä on helppo suunnitella ja valmistaa kevyitä, mutta silti tukevia yksinkertaisia kaidarakenteita. Tarvittaessa teräs tarjoaa myös mahdollisuuden valmistaa ulkonäöllisesti erikoisempiakin kaidarakenteita käyttöympäristön sitä vaatiessa. /9/

## **4 TERÄS- JA ALUMIINIRAKENTEIDEN HARMONISOITU TUOTESTANDARDI EN 1090 JA SEN ASETTAMAT VAATIMUKSET HITSAUSTOIMINNALLE**

Uuden rakennustuoteasetuksen myötä kaikissa rakennustuotteissa tulee olla CE-merkintä. CE-merkinnän saa tuotteisiin kiinnittää, kun tuotteen valmistuksessa noudatetaan tuotteelle osoitettua harmonisoitua tuotestandardia. Teräs- ja alumiinirakenteiden kohdalla tämä tarkoittaa standardin EN 1090 vaatimusten noudattamista omaa toimintaa koskevin osin. Standardi EN 1090 sisältää kaikkiaan kolme osaa, jotka ovat /13/:

- EN 1090-1 Teräs- ja alumiinirakenteiden toteutus – Osa 1: Vaatimukset rakenteellisten kokoonpanojen vaatimustenmukaisuuden arviointiin.
- EN 1090-2 Teräs- ja alumiinirakenteiden toteutus – Osa 2: Tekniset vaatimukset teräsrakenteille.
- EN 1090-3 Teräs- ja alumiinirakenteiden toteutus – Osa 3: Tekniset vaatimukset alumiinirakenteille.

Ensimmäinen osa EN 1090-1 sisältää tiedot mitä vaatimuksia teräs- ja alumiinirakenteita valmistavalle yrityksille asetetaan toiminnan toteuttamiselle ja vaatimustenmukaisuuden osoittamiselle. Osat kaksi ja kolme kertovat mitä nämä vaatimukset teknisesti ja konkreettisesti pitävät sisällään toteutuksessa sekä tuotteiden laadussa. Ensimmäinen osa on siis yhteinen sekä teräkselle ja alumiinille. Osa kaksi EN 1090-2 on tarkoitettu teräsrakenteille ja osa kolme EN 1090-3 alumiinirakenteille. /13/

### 4.1 Standardin soveltamisala

Johdannossa mainitun uuden asetuksen myötä standardisarja tulee koskemaan kaikkia toteutettavia kantavia metallirakenteita, pois lukien offshore-toiminta. Standardia tulee soveltaa /13/:

- talonrakentamisessa
- silloissa
- torneissa ja mastoissa
- paineettomissa säiliöissä, siiloissa ja putkilinjoissa
- paaluissa sekä

- nosturiradoissa.

Talonrakentamisen suhteen tämä tarkoittaa, että kaikkien rakennuksiin tulevien ja siihen kiinteästi liittyvien tuotteiden ja rakenteiden tulee olla standardin vaatimusten mukaisesti valmistettuja, tarkoittaen esimerkiksi myös erilaisia kaiteita ja rappusia. Huomioitavaa on kuitenkin, että vastaavasti kuitenkin tuotteet, jotka kiinnittyvät kiinteästi johonkin koneeseen tai laitteeseen, kuuluvat konedirektiivien alaisuuteen, vaikka ne koneen mukana onkin sijoitettu rakennusten sisälle. /13/

#### 4.2 Toteutusluokat

Lähtökohta standardin asettamien vaatimusten suhteen on toteutusluokan (EXC) valitseminen. Standardi ilmaisee vaatimukset toteutukselle eritasoisten toteutusluokkien avulla. Toteutusluokka voi koskea joko koko rakennetta tai ainoastaan tiettyjä rakenteen osia tai muita yksityiskohtia. Tämän perusteella yksi rakenne voi siis sisältää useitakin eri toteutusluokkia, joita koskevat eri vaatimukset. Valinnat käytettävästä, tai käytettävistä, toteutusluokasta tekee suunnittelija. Suunnittelijan rooli valmistuksen vaativuuden suhteen tulee siis olemaan vielä nykyistäkin suurempi. /13/

Standardi EN 1090-2 antaa teräsrakenteiden toteuttamiselle neljä vaativuustasoltaan erilaista toteutusluokkaa, jotka ovat /14/:

- EXC1
- EXC2
- EXC3 ja
- EXC4.

Toteutusluokan vaativuus kasvaa numeroarvon mukaan pienimmästä suurimpaan siten, että EXC4 on kaikkein vaativin luokka. Mikäli toteutusluokkaa ei ole annettu tai valittu, standardi antaa vaatimuksen käyttää tuolloin toteutusluokkaa EXC2. /14/

Karkeasti luokiteltuna vaatimustasoltaan alhaisin luokka eli EXC1 on tarkoitettu käytettäväksi kohteissa, joissa ihmisiä oleilee ainoastaan satunnaisesti. Toteutusluokka EXC2 on tarkoitettu staattisesti kuormitetuille ja toteutusluokka EXC3 dynaamisesti kuormitetuille rakenteille. Vaativinta toteutusluokkaa EXC4 sovelletaan ainoastaan

erityisen vaativissa käyttökohteissa, kuten esimerkiksi ydinvoimaloissa. Toteutusluokan valintaa ei kuitenkaan tehdä pelkästään käyttökohteen tai kuormitusten perusteella. Valintaan vaikuttavat myös käytettävä materiaali ja valmistusmenetelmät. /13/

Porrastuksia aivan käytännön työssä vaatimuksissa eri toteutusluokkien välillä löytyy esimerkiksi tarvittavien asiakirjojen, tunnistettavuuden ja jäljitettävyyden, leikattujen pintojen laatuvaatimusten, hitsausohjeiden, sallittujen hitsausvirheiden, hitsien tarkastuslaajuuden ja esijännitettyjen ruuviliitosten tarkastusmenettelyjen suhteen. Toteutusluokan merkitystä valmistuksen vaativuuteen ei voi siis missään nimessä liikaa korostaa. /13/

#### 4.2.1 Toteutusluokan valitseminen

Toteutusluokan valinta tehdään siis jo suunnitteluvaiheessa ja siihen vaikuttavat pääasiassa kolme asiaa /14/:

- seuraamusluokka (CC)
- käyttöluokka ja (SC)
- tuotantoluokka (PC).

Seuraamusluokalla tarkoitetaan mahdollisessa vauriotilanteessa syntyvien vahinkojen määrää, esimerkiksi mahdollista henkilövahinkojen suuruutta. Käyttöluokalla tarkoitetaan olosuhteita ja erilaisia mahdollisia kuormitustilanteita, joihin rakenne käyttökohteessaan joutuu. Tuotantoluokka taas riippuu käytettävästä materiaalista sekä valmistustavasta. Standardissa EN 1090-2 on valintaa varten annettu suositustaulukko, jossa nämä kaikki kolme valintaan vaikuttavaa tekijää on huomioitu. Tämä suositustaulukko on esitetty taulukossa 3. /14/.

*Taulukko 3. Suositustaulukko toteutusluokan valitsemiseen. /14/*

Seuraamusluokat		CC1		CC2		CC3	
Käyttöluokat		SC1	SC2	SC1	SC2	SC1	SC2
Tuotantoluokat	PC1	EXC1	EXC2	EXC2	EXC3	EXC3 <sup>a</sup>	EXC3 <sup>a</sup>
	PC2	EXC2	EXC2	EXC2	EXC3	EXC3 <sup>a</sup>	EXC4

<sup>a</sup> Toteutusluokkaa EXC4 käytetään kansallisten sääntöjen edellyttämällä tavalla erityisrakenteille tai rakenteille, joiden vaurio voi aiheuttaa äärimmäisiä seuraamuksia.

### Seuraamusluokat

Seuraamusluokan valinnassa huomioidaan mahdollisissa vauriotilanteessa syntyvien erilaisten inhimillisten vahinkojen mahdollinen suuruus. Huomioon otetaan mahdollisten syntyvien henkilövahinkojen suuruus, sekä taloudelliset, sosiaaliset ja ympäristölliset seuraamukset. Seuraamusluokkia on kolme erilaista /15/:

- CC1
- CC2 ja
- CC3.

Seuraamusluokassa CC1 menetykset henkilövahinkojen tai taloudellisten, sekä sosiaalisten ja ympäristövahinkojen suhteen ovat pieniä tai merkityksettömiä. Tällaisia kohteita ovat esimerkiksi sellaiset varastorakennukset, joissa ihmisiä oleskelee ainoastaan satunnaisesti. Seuraamusluokassa CC2 henkilövahinkojen määrä nousee keskiuureksi ja muidenkin seuraamusten vaikutukset ovat jo merkittäviä. Tällaisia kohteita ovat esimerkiksi asuin- ja liikerakennukset. Vaativimmassa seuraamusluokassa CC3 seuraamukset henkilövahinkojen suhteen ovat suuria ja muut seuraamukset hyvin suuria. Tällaisia kohteita taas ovat kaikki erilaiset julkiset rakennukset, joissa ihmisiä voi olla kerrallaan suuria määriä, kuten esimerkiksi erilaiset katsomot tai konserttisalit. /15/

### Käyttöluokat

Käyttöluokka muodostuu käyttöolosuhteista ja kuormituksista, joihin rakenne kohteessaan joutuu. Käyttöluokkia on vaativuudeltaan kaksi erilaista /14/:

- SC1 ja
- SC2.

Käyttöluokkaan SC1 kuuluvat rakenteet, joihin kohdistuu pääasiassa ainoastaan staattisia kuormituksia. Tällaisia kohteita ovat esimerkiksi kaikki rakennukset, jotka eivät seismiseltä vaikutukseltaankaan ole korkean aktiviteetin alueilla. Toiseen käyttöluokkaan taas kuuluvat kaikki tuotteet, jotka joutuvat käyttökohteessaan väsyttävälle dynaamiselle kuormitukselle. Tällaisia kohteita ovat esimerkiksi maantie- ja rautatiesillat, sekä kaikki sellaiset rakennukset jotka ovat maantieteelliseltä sijainniltaan korkean seismisen aktiviteetin alueilla. Suomi luonnollisesti kuuluu seismiseltä vaikutukseltaan matalan aktiviteetin alueisiin. /14/

Tuotantoluokat

Tuotantoluokka riippuu käytettävästä materiaalista ja valmistusmenetelmästä.

Tuotantoluokkia on kaksi erilaista /14/:

- PC1 ja
- PC2.

Ensimmäiseen tuotantoluokkaan PC1 kuuluvat kaikki terästuotteet, joissa hitsausta ei ole käytetty lainkaan valmistusmenetelmänä. Tähän luokkaan kuuluvat kuitenkin myös sellaiset hitsatut kokoonpanot, joiden terästen lujuusluokka on alle S355 lujuisen teräksen. Toiseen tuotantoluokkaan PC2 kuuluvat siis kaikki loput hitsatut kokoonpanot, joiden terästen lujuusluokka on vähintään S355 tai yli sen. Tuotantoluokkaan PC2 kuuluvat myös kaikki kokoonpanot, jotka valmistetaan hitsaamalla ja ne ovat rakenteellisen toimivuuden kannalta tärkeitä riippumatta materiaalin lujuudesta. Lisäksi kokoonpanot, jotka valmistetaan kuumamuovaamalla tai joita lämpökäsitellään jossain valmistuksen vaiheessa, kuuluvat automaattisesti tuotantoluokkaan PC2. /14/

Tässä kohtaa on syytä todeta, että suositusmatriisia tarkasteltaessa ainoa vaihtoehto EXC1 toteutusluokan käytölle tuotantoluokan suhteen on siis luokka PC1. Tässä kohtaa on huomioitava, että raja hitsattavan materiaalin lujuuden suhteen menee nimenomaan teräksen S355 lujuuden kohdalla. Raja kulkee nimenomaan siten, että teräs S355 kuuluu luokkaan PC2 ja ainoastaan sitä alhaisemman lujuuden omaavat teräkset luokkaan PC1. Tästä seuraa se, että Suomessakin lähes kaikki hitsattavat teräsrakenteet menevät vähintään toteutusluokkaan EXC2, koska pääasiassa Suomessa käytetään lähes aina terästä, jonka lujuusarvo on vähintään tuo S355. /14/

#### 4.3 Standardin antamat vaatimukset hitsaustoiminnalle eri toteutusluokissa

Standardi EN 1090-2 antaa suorat vaatimukset hitsaustoiminnan toteuttamiselle eri toteutusluokissa. Vaatimukset hitsaustoiminnalle eri toteutusluokissa tulevat hitsauksen standardisarjan EN ISO 3834 eri osien vaatimusten mukaisesti. Toteutusluokat ja hitsausstandardisarjan osat vastaavat toisiaan seuraavasti /13/:

- Toteutusluokka EXC1 – EN ISO 3834-4 Peruslaatuvaatimukset.
- Toteutusluokka EXC2 – EN ISO 3834-3 Standardilaatuvaatimukset.
- Toteutusluokat EXC3 ja EXC4 – EN ISO 3834-2 Kattavat laatuvaatimukset.

Standardisarja EN ISO 3834 on laadittu, siten että sitä voidaan soveltaa monessa eri tapauksessa. Sen osien numerointi toteutuksen vaativuuden suhteen on päinvastainen verrattuna toteutusluokkien numerointiin. Kuten eri osien nimistäkin voidaan nähdä, että kaikkein vaativin osio on EN ISO 3834-2 Kattavat laatuvaatimukset ja vaatimuksiltaan helpoin vastaavasti osa EN ISO 3834-4 Peruslaatuvaatimukset. /16/

Yleisessä tapauksessa standardisarjaa EN ISO 3834 noudatettaessa sovellettavan osan valinnassa huomioidaan edellä olevan toteutusluokan valitsemisen tapaan tuotteiden turvallisuusnäkökohtien kriittisyys, laajuus ja merkitys. Lisäksi on huomioitava valmistuksen monimutkaisuus, käytettävät materiaalit ja mahdollisten metallurgisten ongelmien laajuus. Kaikkiaan on myös huomioitava kuinka mahdolliset virheet vaikuttavat tuotteen toimivuuteen. /16/

Sovellettavan toteutusluokan myötä eri osien välillä on vaatimuksissa useita eroja. Eroja löytyy esimerkiksi hitsaushenkilöstön pätevyyksissä, hitsausohjeiden käytössä ja niiden hyväksymisessä, hitsien tarkastuksessa ja testaamisessa, sekä materiaalien tunnistettavuudessa ja jäljitettävyydessä. /13/

#### 4.4 Hitsaushenkilöstö ja sen pätevyudet

Se mitä toteutusluokkaa vaaditaan, vaikuttaa suoraan siihen mitä pätevyksiä hitsaukseen liittyviltä henkilöiltä vaaditaan. Yhteistä kaikille toteutusluokille on, että kaikissa niissä hitsaajien ja hitsausoperaattoreiden pätevyyksien on oltava kunnossa. Hitsaajien pätevyyksien tulee olla standardin EN 287-1 mukaisia ja hitsausoperaattoreiden pätevyyksien standardin EN 1418 mukaisia. Pätevyysvaatimus koskee myös kokoamisessa käytettävien silloitushitsien hitsaajia. Eli karkeasti voidaan todeta, että kaikki henkilöt jotka laittavat valokaaren palamaan ja tekevät mitä tahansa hitsejä, tulee olla virallisesti pätevoidettyjä. /14/

Eroa vaatimusten suhteen onkin hitsaustoimintojen esimiehen (tai esimiesten) eli hitsauskoordinoijan pätevyysvaatimuksissa. Toteutusluokassa EXC1 ei vaatimuksia hitsauskoordinoijan pätevyydelle ole lainkaan. Muissa toteutusluokissa standardi EN 1090-2 antaa taulukossaan vaatimukset eri toteutusluokissa tarvittavalle pätevyydelle käytettävien eri materiaalityyppien suhteen. Koordinoijalla tulee pätevyuden lisäksi olla

standardin EN ISO 14731 mukainen kokemus hitsaustöistä. Pätevyysvaatimukset näkyvät näissä standardin taulukoissa, jotka on esitetty taulukoissa 4 ja 5. Taulukoissa tunnus B vastaa hitsauskoordinoijan hitsausneuvojan pätevyyttä EWS/IWS. Tunnus S taas vastaa hitsausteknikon pätevyyttä EWT/IWT. Vaativin pätevyysvaatimus eli taulukon tunnus C vastaa hitsausinsinöörin pätevyyttä EWE/IWE. /14/

*Taulukko 4. Hitsauskoordinoijan pätevyysvaatimukset eri toteutusluokissa seostamattomille rakenneteräksille. /14/*

EXC	Teräskset (teräsryhmä)	Viitestandardit	Ainepaksuus (mm)		
			$t \leq 25^a$	$25 < t \leq 50^b$	$t > 50$
EXC2	S235...S355 (1.1, 1.2, 1.4)	EN 10025-2, EN 10025-3, EN 10025-4 EN 10025-5, EN 10149-2, EN 10149-3 EN 10210-1, EN 10219-1	B	S	C <sup>c</sup>
	S420...S700 (1.3, 2, 3)	EN 10025-3, EN 10025-4, EN 10025-6 EN 10149-2, EN 10149-3, EN 10210-1, EN 10219-1	S	C <sup>d</sup>	C
EXC3	S235...S355 (1.1, 1.2, 1.4)	EN 10025-2, EN 10025-3, EN 10025-4 EN 10025-5, EN 10149-2, EN 10149-3 EN 10210-1, EN 10219-1	S	C	C
	S420...S700 (1.3, 2, 3)	EN 10025-3, EN 10025-4, EN 10025-6 EN 10149-2, EN 10149-3, EN 10210-1, EN 10219-1	C	C	C
EXC4	Kaikki	Kaikki	C	C	C

<sup>a</sup> Pilareiden pohjalevyille ja päätylevyille  $\leq 50$  mm.  
<sup>b</sup> Pilareiden pohjalevyille ja päätylevyille  $\leq 75$  mm.  
<sup>c</sup> Teräksille, joiden lujuusluokka on korkeintaan S275, taso S riittää.  
<sup>d</sup> Teräksille N, NL, M ja ML, taso S riittää.

*Taulukko 5. Hitsauskoordinoijan pätevyysvaatimukset eri toteutusluokissa ruostumattomille teräksille. /14/*

EXC	Teräskset (teräsryhmä)	Viitestandardit	Ainepaksuus (mm)		
			$t \leq 25$	$25 < t \leq 50$	$t > 50$
EXC2	Austenittiset (8)	EN 10088-2:2005, Taulukko 3 EN 10088-3:2005, Taulukko 4 EN 10296-2:2005, Taulukko 1 EN 10297-2:2005, Taulukko 2	B	S	C
	Austenittis- ferrittiset (10)	EN 10088-2:2005, Taulukko 4 EN 10088-3:2005, Taulukko 5 EN 10296-2:2005, Taulukko 1 EN 10297-2:2005, Taulukko 3	S	C	C
EXC3	Austenittiset (8)	EN 10088-2:2005, Taulukko 3 EN 10088-3:2005, Taulukko 4 EN 10296-2:2005, Taulukko 1 EN 10297-2:2005, Taulukko 2	S	C	C
	Austenittis- ferrittiset (10)	EN 10088-2:2005, Taulukko 4 EN 10088-3:2005, Taulukko 5 EN 10296-2:2005, Taulukko 1 EN 10297-2:2005, Taulukko 3	C	C	C
EXC4	Kaikki	Kaikki	C	C	C

Kuten nähdään, toteutusluokasta EXC2 ylöspäin koordinoijalta vaaditaan aina jonkin näköistä pätevyyttä. Tästä voidaan päätellä, että kun käytetään toteutusluokkaa EXC2, mikäli tuotteita yleensäkin aiotaan valmistaa ja valmistuksessa käytetään hitsausta, tulee yrityksellä olla nimettynä hitsauskoordinoija ja tällä käytettävien materiaalien perusteella myös riittävä pätevyys tehtävään. Taulukosta nähdään, että pätevyysvaatimukseen vaikuttavat pelkän toteutusluokan lisäksi hitsattavat teräslajit sekä niiden ainevahvuudet. /14/

#### 4.5 Hitsausohjeiden käyttö ja niiden hyväksyminen

Uuden asetuksen myötä vaatimuksia tulee myös hitsausohjeiden (WPS) käytön suhteen. Samoin kuin koordinoijan pätevyysvaatimuksissa, ainoastaan toteutusluokassa EXC1 ei ole vaatimuksia hitsausohjeiden käytölle. Kaikissa muissa toteutusluokissa on vaatimus hyväksytyjen hitsausohjeiden käytölle, mukaan lukien myös kokoamisessa hyödynnettävät silloitushitsit. Tämä tarkoittaa siis sitä, että niin sanottuja ”heppauksiakaan” ei saa tehdä ilman hyväksytyä hitsausohjetta toteutusluokasta EXC2 ylöspäin. /14/

Vaikka näissä kolmessa toteutusluokassa on yhtenevä vaatimus hitsausohjeiden käytölle, on eri toteutusluokkien hitsausohjeiden hyväksymismenettelyissä eroja. Nämä eri toteutusluokkien hyväksymismenettelyt on esitetty taulukossa 6. Taulukko koskee hitsausprosesseja prosessinumeroiden 111, 114, 12, 13 ja 14 alla. Prosessinumeroiden perusteella se koskee siis yleisimmin käytössä olevia prosesseja eli MIG-hitsausta (131), MAG-hitsausta (135), TIG-hitsausta (141) sekä puikkohitsausta (111). /14/

Taulukko 6. Hitsausohjeiden hyväksymismenettelyt eri toteutusluokissa. /14/

Hyväksymismenetelmä		EXC 2	EXC 3	EXC 4
Menetelmäkoe	EN ISO 15614-1	X	X	X
Esituotannollinen koe	EN ISO 15613	X	X	X
Standardimenetelmä	EN ISO 15612	X <sup>a</sup>	–	–
Aikaisempi kokemus	EN ISO 15611	X <sup>b</sup>	–	–
Testatut lisäaineet	EN ISO 15610			
X	Sallittu			
–	Ei sallittu			
<sup>a</sup> Vain materiaaleille ≤ S 355 ja vain käsin hitsauksessa tai osittain mekanisoidussa hitsauksessa.				
<sup>b</sup> Vain materiaaleille ≤ S 275 ja vain käsin hitsauksessa tai osittain mekanisoidussa hitsauksessa.				

Taulukosta nähdään, että ainoastaan toteutusluokassa EXC2 on mahdollista käyttää standardihitsausohjeita tai aikaisempaa kokemusta hyväksymismenettelynä. Tässä kohtaa on kuitenkin huomioitava sallittu materiaalin lujuus. Käytännössä aikaisemman käytön mahdollisuus putoaa pois alhaisen lujuusrajan takia, joka on teräksen S275 lujuus tai alhaisempi. Tarkkana tulee olla myös standardiohjeiden kanssa, sillä siinä rajana on teräksen S355 lujuus tai alhaisempi. Tämän lujuinen materiaali on melko yleinen ja tämän vaihtoehdon käyttö on järkevää, mikäli aina pysytään maksimissaan tässä S355 lujuusluokassa. /14/

Erittäin tärkeä ja oleellinen huomioitava asia käytettäessä standardihitsausohjeita on, että materiaalin lujuusraja todella on tuo S355. Tämän kanssa tulee olla tarkkana, sillä joskus materiaalin toimittajat saattavatkin toimittaa lujempaa terästä tämän tavallisen S355-teräksen tilalla. Nykyään on myös olemassa niin sanottuja ”tupla-leimallisia” teräksiä, jotka täyttävät sekä S355-teräksen, että S420-teräksen lujuusvaatimukset. Ainakin Ruukki Suomessa valmistaa ja toimittaa tällaisia kahden lujuusarvon teräksiä. Tällaisessa tapauksessa standardihitsausohjeiden käyttö ei olekaan enää mahdollista, kun käytettävän materiaalin kohdalla lujuusraja S355 ylitetään, vaikka tilaaja olisikin tilannut materiaalin S355-teräksenä. Tämä asia on todella tärkeää osata ottaa huomioon hitsausohjeiden hyväksymisessä sekä materiaalien tilaamisessa. /17/

#### 4.6 Hitsien tarkastus ja testaaminen

Hitsien tarkastusvaatimukset riippuvat valitusta toteutusluokasta. Kaikissa neljässä toteutusluokassa hitsit on aina tarkastettava silmämääräisesti koko matkaltaan. Toteutusluokassa EXC1 ei automaattisesti ole vaatimuksia muulle kuin silmämääräiselle tarkastukselle, ellei sitä erikseen tapauskohtaisesti vaadita. Toteutusluokasta EXC2 ylöspäin standardi vaatii tehtäväksi muitakin tarkastuksia NDT-menetelmillä. Eri toteutusluokissa on eroja vaaditusta tarkastuslaajuudesta. Nämä laajuusvaatimukset on esitetty taulukossa 7. /14/

*Taulukko 7. Silmämääräisen tarkastuksen lisäksi tehtävien NDT-tarkastusten laajuus eri toteutusluokissa. /14/*

Hitsin tyyppi	Konepaja- ja työmaahitsit		
	EXC2	EXC3	EXC4
Poikittaiset päittäishitsit ja osittain läpihitsatut päittäishitsit, joihin kohdistuu vetojännitys:  $U \geq 0,5$  $U < 0,5$	10 %  0 %	20 %  10 %	100 %  50 %
Poikittaiset päittäishitsit ja osittain läpihitsatut hitsit:  ristiliitoksissa  T-liitoksissa	10 %  5 %	20 %  10 %	100 %  50 %
Poikittaiset pienahitsit, joihin kohdistuu vetoa tai leikkausta:  Kun $a > 12$ mm tai $t > 20$ mm  Kun $a \leq 12$ mm ja $t \leq 20$ mm	5 %  0 %	10 %  5 %	20 %  10 %
A1> Läpihitsatut pitkittäiset hitsit nosturin kannattajien uuman ja ylälaipan välissä:	10 %	20 %	100 %
Muut pitkittäiset hitsit ja jäykisteiden hitsit	0 %	5 %	10 % <A1
HUOM. 1 Kokoonpanon akselin suuntaiset hitsit katsotaan pitkittäisiksi. Kaikki muut katsotaan poikittaishitseiksi. HUOM. 2 $U$ = hitsien hyväksikäyttöaste kvasistaattisluontoisille kuormille. $U = E_s / R_s$ , missä $E_s$ on hitsin suurin kuormavaikutus ja $R_s$ on hitsin kestävyys murtorajatilassa. HUOM. 3 Suureet $a$ ja $t$ viittaavat pienahitsin $a$ mittaan ja liitettävien materiaalien enimmäispaksuuteen.			

Sallittuja tarkastusmenetelmiä ovat tunkeumanestetarkastus (PT), magneettijauh tarkastus (MT), ultraäänitarkastus (UT) sekä röntgentarkastus (RT). Menetelmä on valittava tarpeen mukaan ja tarkastukset on suoritettava kunkin menetelmän standardia noudattaen. /14/

Tämän lisäksi standardi EN 1090-2 antaa myös lisävaatimuksia hitsien tarkastukselle otettaessa käyttöön uusia hitsausohjeita. Tarkastuksilla osoitetaan, että käytettävällä hitsausohjeella pystytään valmistamaan vaatimusten mukaisia hitsejä. Vaatimuksena on, että jokaisella uudella hitsausohjeella hitsattavista hitseistä viisi ensimmäistä hitsiä tulee tarkastaa. Tarkastusten laajuus on kaksinkertainen verrattuna edellä olevaan taulukkoon 7 ja vähimmäistarkastuspituus on 900 mm. Kaikkien tarkastettavien viiden hitsin on täytettävä hitsiluokan B vaatimukset. Mikäli tarkastuksissa löydetään hitsejä, jotka eivät täytä vaatimuksia, tulee virheiden aiheuttaja selvittää ja tämän jälkeen tarkastaa uudet viisi hitsiä. Hitsien on nimenomaan täytettävä luokan B vaatimukset, vaikka virallisissa tuotteissa vaatimuksena olisi hitsiluokka D tai C. /14/

Myös tarkastusten suoritusten ajoitukselle standardi antaa vaatimuksia vähimmäisjäähdytysajan suhteen. Vähimmäisjäähdytysajat ennen tarkastusten suorittamista on esitetty taulukossa 8. Vaatimukset vähimmäisjäähdytysajasta eivät koske silmämääräistä tarkastusta. Hitsit, joiden tarkastaminen seuraavan työvaiheen jälkeen ei ole enää mahdollista, tulee tarkistaa ennen tätä työvaihetta ja myös tällöin on huomioitava vaadittu vähimmäisjäähdytysaika. /14/

Taulukko 8. Hitsien vähimmäisjäähdytysaika ennen niiden tarkastamista. /14/

Hitsin koko (mm) <sup>a</sup>	Lämmöntuonti Q (kJ/mm) <sup>b</sup>	Jäähdytysajat (tunteja) <sup>c</sup>	
		A1> S235...S460 <A1	A1> yli S460 <A1
a tai s ≤ 6	Kaikki	Vain jäähdytysaika	
6 < a tai s ≤ 12	≤3	8	24
	>3	16	40
a tai s > 12	≤3	16	40
	>3	A1> 24 <A1	48

<sup>a</sup> Hitsin kokonaan käytetään pienahitsille a-mitan nimellisarvoa tai täysin läpihitsatulle hitsille materiaalin nimellispaksuutta s. Yhdeltä puolelta osittain läpihitsatulle hitsille määräävä kriteeri on hitsin nimellispaksuus a, mutta samanaikaisesti molemmilta puolilta osittain läpihitsatulle päittäishitsille käytetään osahitsien summaa.

<sup>b</sup> Lämmöntuonti Q lasketaan standardin EN 1011-1:1998 kohdan 19 mukaisesti.

<sup>c</sup> Hitsin valmistamisen ja NDT-tarkastuksen aloittamisen välinen aika esitetään NDT-pöytäkirjassa. Tapauksella "vain jäähdytysaika" tarkoitetaan aikaa, joka kuluu kunnes hitsi on riittävästi jäähtynyt NDT:n aloittamiseen.

#### 4.7 Hitsien hyväksymiskriteerit

Eri toteutusluokkien välillä on eroa myös vaaditussa ja hyväksyttävässä hitsin laadussa. Standardi EN 1090-2 antaa vaatimukset eri toteutusluokille seuraavasti /14/:

- EXC1 – hitsiluokka D
- EXC2 – hitsiluokka C

- EXC3 – hitsiluokka B
- EXC4 – hitsiluokka B+.

Edellä olevat hitsiluokkien määrittelyt löytyvät standardista EN ISO 5817. Tämä standardi antaa kolme eri hitsiluokkaa, jotka ovat D, C ja B. Näistä hitsiluokka B on luonnollisesti vaativin ja hitsiluokka D kaikkein vaatimattomin. Sanallisesti hitsiluokka D vastaa tyydyttävää hitsiä, hitsiluokka C hyvää ja B vaativaa. Vaativimmassa toteutusluokassa EXC4 hitsiluokan B-kirjaimen perässä oleva +-merkki tarkoittaa standardin EN 1090-2 antamia lisävaatimuksia standardin EN ISO 5817 hitsiluokkaan B. Hitsiluokassa B+ on siis pieniä lisätiukennuksia sallittujen hitsausvirheiden suhteen verrattuna standardin hitsiluokkaan B. Nämä lisävaatimukset on esitetty taulukossa 9. /13/

*Taulukko 9. Standardin EN 1090-2 lisävaatimukset hitsiluokalle B+. /14/*

Virhetyyppi	Virheen rajat <sup>a</sup>	
Reunahaava (5011, 5012)	Ei sallita	
Sisäiset huokokset (2011...2014)	Päittäishitsit	$d \leq 0,1 s$ , kuitenkin enintään 2 mm
	Pienahitsit	$d \leq 0,1 a$ , kuitenkin enintään 2 mm
Sulkeumat (300)	Päittäishitsit	$h \leq 0,1 s$ , kuitenkin enintään 1 mm $l \leq s$ , kuitenkin enintään 10 mm
	Pienahitsit	$h \leq 0,1 a$ , kuitenkin enintään 1 mm $l \leq a$ , kuitenkin enintään 10 mm
Sovitusvirhe (507)	$h < 0,05 t$ , kuitenkin enintään 2 mm	
vajaa juuri (515)	Ei sallita	
<b>Lisävaatimukset siltojen kansille<sup>a, b</sup></b>		
Huokoisuus ja kaasuhuokokset (2011, 2012 ja 2014)	Vain yksittäiset pienet huokokset hyväksytään	
Huokosryhmät (2013)	Yhteenlaskettu määrä enintään 2 %	
Pitkänomainen huokonen, madonreikähuokonen (2015 ja 2016)	Ei pitkiä huokosia	
Pienahitsien sovitusrvirhe (617)	Kaikki poikittaiset hitsit tarkastetaan kokonaan. Juuren pieni rako hyväksytään vain paikallisesti $h \leq 0,3 \text{ mm} + 0,1 a$ , kuitenkin enintään 1 mm	
Reunahaava (5011)	a) päittäishitsit: hyväksytään vain paikallisesti $h \leq 0,5 \text{ mm}$ b) pienahitsit: ei sallita kohdissa, joissa suunta on poikittain jännitykseen nähden. Reunahaavat poistetaan hiomalla	
Useat samassa poikkileikkauksessa esiintyvät hitsausvirheet (n <sup>o</sup> 4.1)	Ei sallita	
Sulkeumat (300)	Ei sallita	
<sup>a</sup> Tunnukset on määritetty standardissa EN ISO 5817.		
<sup>b</sup> Nämä ovat lisävaatimuksia luokalle B+.		

Vastaavasti toteutusluokan EXC2 vaatimuksessa hitsiluokka C, on muutamien virhetyyppien suhteen helpotettu rajoja hitsiluokan D tasolle. Helpotukset koskevat hitsausvirheistä reunahaavaa, pintapalon valumaa, sytytysjälkiä sekä avoimia imuonteloita. Huomioitavaa myös kuitenkin on, että tietyn toteutusluokan tuotteiden hitsiluokka

vaatimuksissa, saatetaan asiakkaan toimesta vaatia myös tapauskohtaisesti korkeampaakin hitsiluokkaa kuin standardin EN 1090-2 antamassa toteutusluokan hitsiluokka vaatimuksessa. /13/

#### 4.8 Hitsauksessa käytettyjen materiaalien ja lisäaineiden tunnistettavuus sekä jäljitettävyyys

Eri toteutusluokat antavat erilaisia vaatimuksia myös valmistuksessa käytettäville materiaaleille sekä lisäaineille. Lisäksi vaatimuksia on myös hitsit hitsanneen hitsarin tai hitsanneiden hitsareiden tunnistamisessa, siten että heidät pystytään osoittamaan päteviksi kyseisen tuotteen hitsaamiseen. Hitsattavien perusaineiden kohdalla tulee varmistaa, että niiden toimittajilta saadaan materiaalien oikeanlaiset aineodistukset. Aineodistukset toimivat dokumentteina siitä, että tuotteissa käytetään hyväksytyjä vaatimukset täyttäviä materiaaleja. Sama vaatimus koskee myös hitsauslisäaineita. Toteutusluokassa EXC1 tunnistamisen ja jäljitettävyyden suhteen ei vaatimuksia ole lainkaan. Ainoa vaatimus on tietysti, että käytetään hyväksytyjä materiaaleja. Myös toteutusluokassa EXC2 riittää käytännössä, että pystytään osoittamaan, että käytettävistä tuotteista löytyvät aineodistukset ja mahdolliset eri teräslajit osataan erotella tuotteesta. Suoraa ja tarkkaa tunnistamista ja yhdistämistä vaikkapa juuri tiettyyn saman materiaalin sulatuserään ei vaadita. Toteutusluokissa EXC3 ja EXC4 pitää jokainen kokoonpano pystyä tarkasti yhdistämään siinä käytettyihin aineodistuksiin, siten että tiedetään tämän tuotteen olevan juuri näiden aineodistusten materiaaleja. Kappaleet tulee tunnistaa koko valmistuksen ajan kaikissa eri vaiheissa. Tosin joskus tilaava asiakas saattaa vaatia tarkempaakin aineodistusten yhdistämistä materiaaleihin kahdessa alemmassakin toteutusluokassa, vaikka standardi sitä ei vaadikaan. /14/

Myös hitsauksessa käytettävien lisäaineiden tulee olla vaatimukset täyttäviä ja myös tämä voidaan osoittaa lisäaineiden aineodistusten avulla. Tarvittaessa tulee siis pystyä aineodistusten avulla todistamaan, että käytetyt hitsauslisäaineet ovat oikeanlaisia ja vaatimukset täyttäviä. Tarkkaa merkintää esimerkiksi, siitä mitä lisäainelankakelaa on käytetty juuri missäkin kohtaa, ei kuitenkaan tarvitse tehdä ellei sitä asiakas erikseen vaadi. Lisäaineita tulee käsitellä ja varastoida aina niiden valmistajien antamien suositusten mukaisesti. /14/

## 5 CE-MERKINTÄOIKEUDEN SAAMINEN

CE-merkintä, joka näkyy kuvassa 11, on merkki, jonka avulla valmistajat voivat osoittaa tuotteidensa täyttävän tuotteelle sovellettavien harmonisoitujen tuotestandardien vaatimukset. Harmonisoiduilla tuotestandardeilla tarkoitetaan standardeja, jotka tuoteryhmäkohtaisesti osoittavat mitä ominaisuuksia ja mitä vaatimuksia tuotteille sekä niiden valmistajille asetetaan. Tarkoituksena on, että CE-merkin avulla voidaan tuotteen ominaisuudet osoittaa yhdenmukaisella tavalla. Tätä kautta tuotteiden vienti helpottuu, sillä CE-merkintä oikeuttaa tuotteen viemisen markkinoille kaikkiin EU-maihin. /18/



**Kuva 11.** CE-merkintä. /19/

### 5.1 Oikeus CE-merkinnän kiinnittämiseen

Saadakseen oikeuden kiinnittää CE-merkintä valmistamiinsa tuotteisiin, tulee yrityksen saada siihen lupa ulkopuoliselta ilmoitetulta laitokselta (Notified Body). Lupa osoitetaan varmennustodistuksella, jonka voimassaolo ja ylläpito edellyttävät määrävälein tehtäviä tarkastuksia toiminnan vaatimustenmukaisuudesta. Varmistukseksi ei siis riitä pelkkä oma sisäinen varmentaminen, vaan lupa pitää saada ulkopuoliselta sertifioidulta tarkastuslaitokselta. /20/

Teräksisten rakennustuotteiden kohdalla varmennustodistuksen saaminen edellyttää standardien EN 1090-1 ja EN 1090-2 mukaista toimintaa. Yrityksen tulee tuotannossaan soveltaa näiden kahden standardin antamia vaatimuksia ja osoittaa tuotteiden

vaatimustenmukaisuus standardin mukaisesti. Alumiinin kohdalla on huomioitava kolmas osa EN 1090-3. Kaikille uusille tuotteille tulee ennen markkinoille laittamista tehdä myös vaatimustenmukaisuusvakuutus. /20/

## 5.2 Valmistajan tehtävät CE-merkintäoikeuden saamiseksi

Käytännössä jos yritys valmistaa tuotteita ja haluaa merkitä ne CE-merkinnällä, tulee sen toimia seuraavanlaisesti /20/:

- määrittää tuotteilleen toteutusluokka
- varmistaa tuotannon valmistusprosessit standardien vaatimusten mukaisiksi
- laatia laatujärjestelmä sisältäen laatuksikirjan kaikille standardien kattamille toiminnoille yrityksessä
- varmistaa työntekijöiden riittävät pätevyudet valmistusprosesseille
- varmistaa kaikkien vaatimusten täyttyminen myös alihankkijoiden osalta.

Toteutusluokka määritetään jo suunnitteluvaiheessa, ja ellei sitä ole määritetty tulee käyttää toteutusluokkaa EXC2. Valmistusprosessien määrittäminen ja henkilöstön pätevyysien varmistaminen standardien mukaisiksi, tarkoittaa esimerkiksi hitsaustoiminnan kohdalla työssä käytyjen asioiden kuntoon laittamista. Samoin kaikki muutkin valmistukseen kuuluvat prosessit tulee laittaa standardin vaatimusten mukaisiksi. Sama tulee varmistaa myös alihankinnassa teetettävien toimintojen suhteen. Kaikki tämä pitää pystyä osoittamaan ja varmentamaan laatujärjestelmän avulla, joka kattaa ja huomioi yrityksen kaikki eri toiminnot. Yrityksellä tulee siis olla laadunhallintajärjestelmä, jonka avulla valvotaan, että valmistetut tuotteet täyttävät jatkuvasti niille asetetut vaatimukset. /20/

## 6 YHTEENVETO

Uusilla asetuksilla ja säännöksillä pyritään aina kehittämään tai parantamaan jotain asiaa, kuten esimerkiksi tuotteiden laatua ja turvallisuutta. Yhtenäisen standardeissa määrättyjen mallien avulla kaikki tietävät mitä vaatimuksia tuotteet täyttävät sekä mitä toimintatapoja tuotteiden valmistuksessa on noudatettu. Tätä kautta myös tuotteiden vienti ja vertailu keskenään helpottuu huomattavasti.

Samalla kuitenkin uudistukset, uudet asetukset ja säännökset tuovat aina mukanaan myös uusia haasteita vaatimusten täyttämiseksi. Kuten tässäkin työssä käsitelty hitsattujen teräsrakenteiden CE-merkinnän pakollisuus tuo mukanaan todella suuren muutoksen vanhoihin toimintatapoihin. Erittäin iso uuden asetuksen tuoma haaste on kaikkien erilaisten paperien ja dokumenttien lisääntyminen. Ei riitä, että pelkästään tehdään jotain, vaan pitää myös tarkasti tietää mitä ja miten tehdään. Tämä kaikki pitää myös pystyä osoittamaan erilaisten dokumenttien avulla. Samoin henkilöiden pätevyys tulee osoittaa virallisesti, ei riitä esimerkiksi pelkkä toteamus ”kyllähän se nyt hitsata osaa”.

Tämän työn pohjana toimiva teräsrakenteita koskeva CE-merkinnän pakollisuus asettaa monia uusia haasteita teräsrakenteiden valmistajille erityisesti hitsaustoiminnan toteutuksen suhteen. Kaikissa yrityksissä, joiden tuotteita asetus koskee, on hitsaustoiminta ja siitä syntyvä dokumentointi laitettava standardin vaatimalle tasolle. Pelkkien tuotteiden laadun lisäksi myös henkilöstön pätevyyksien on oltava ajan tasalla ja ohjeet hitsauksen suorittamiselle on selkeästi oltava olemassa. Myös kaikkien erilaisten tehtävien tarkastusten määrä lisääntyy huomattavasti.

Pelkkien pakollisten vaatimusten lisäksi yritysten tulisi nähdä nyt eteen tulevassa tilanteessa myös mahdollisuus oman toiminnan kehittämiseen. Vaikka monet asetuksen tuomista vaatimuksista voivat tuntua monessa yrityksessä turhilta ja työläiltä, monet niistä varmasti kuitenkin myös selkeyttävät ja parantavat vanhoja toimintatapoja. Monelle yritykselle, jossa ennestään ei ole käytössään mitään varsinaista laatujärjestelmää, pelkästään panostus laatujärjestelmän rakentamiseen varmasti parantaa kokonaistoimintaa ja sen hallintaa. Samoin pelkästään hitsaustoiminta ja sen tehokkuus paranevat lähes aina

pätevän hitsauskoordinoijan toimien avulla. Myös vaatimukset kuten hitsareiden pätevöinti ja hitsausohjeiden käyttö parantavat syntyvien tuotteiden laatua.

## LÄHTEET

- /1/ Virtanen, M. Rakennustuoteasetus tulee voimaan 1.7.2013. SFS-tiedotus, 2011. Vol. 43: 1 s. 4-5. ISSN 0356-1089.
- /2/ Ikävalko, M. Pettinen, R. Uusilla EU-säännöksillä vahva vaikutus suomalaiseen teräsrakentamiseen. Materia, 2012. Vol. 70: 2. s. 76–77. ISSN 1459-9694.
- /3/ Metallinjalostajat ry. Teräskirja – Teräs - silta tulevaisuuteen. Tampere: Esa Print Oy, 2009. 104 s. ISBN 978-952-238-011-1.
- /4/ Saarni, R. Teräsrakentaminen. Tampere: Tammer-Paino Oy, 1996. 208 s. ISBN 951-682-372-6.
- /5/ Teräsrakenneyhdistys ry. Teräsrakenteiden suunnittelu ja mitoitus. Eurocode 3 –oppikirja. Forssa: Forssan Kirjapaino Oy, 2010. 183 s. ISBN 978-952-9683-50-5.
- /6/ Martikainen, J. Hitsausmetallurgia. [luentomateriaalit]. Lappeenranta: Lappeenrannan teknillinen yliopisto, 2011.
- /7/ Suomen Hitsausteknillinen Yhdistys ry. Hitsauksen materiaalioppi. Orivesi: Oriveden Kirjapaino, 2004. 295 s. ISBN 951-98212-2-8.
- /8/ Koivisto, K. Laitinen, E. Niinimäki, M. Tiainen, T. Tiilikka, P. Tuomikoski, J. Konetekniikan materiaalioppi. Helsinki: Edita Prima Oy, 2008. 341 s. ISBN 978-951-37-5259-0.
- /9/ Hämeen ammattikorkeakoulu. Metallirakentamisen käsikirja. Saarijärvi: Saarijärven Offset Oy, 2008. 285 s. ISBN 978-951-784-458-1.

- /10/ Kyröläinen, A. Manninen, T. Taulavuori, T. Ruostumattomat teräkset. Vaasa: Oy Fram Ab, 2012. 64 s. ISBN 978-952-238-092-0.
- /11/ Lepola, P. Makkonen, M. Hitsaustekniikat ja teräsrakenteet. Helsinki: Werner Söderström Osakeyhtiö, 2005. 429 s. ISBN 951-0-27158-6.
- /12/ Hämeen ammattikorkeakoulu. Teräsrakentaminen. Saarijärvi: Saarijärven Offset Oy, 2008. 240 s. ISBN 978-951-784-457-1.
- /13/ Kalamies, U. Teräs- ja alumiinirakenteiden toteuttaminen: SFS-EN 1090-2 ja CE-merkintä. Hitsauskoordinoijan pätevöityskoulutus 2011-2012. [luentomateriaalit].
- /14/ Suomen Standardoimisliitto SFS ry. 2012. SFS-EN 1090-2+A1. Teräs- ja alumiinirakenteiden toteuttaminen. Osa 2: Teräsrakenteita koskevat tekniset vaatimukset. Helsinki: Suomen Standardoimisliitto SFS. 198 s.
- /15/ Suomen Standardoimisliitto SFS ry. 2006. SFS-EN 1990+A1+AC. Eurokoodi. Rakenteiden suunnitteluperusteet. Helsinki: Suomen Standardoimisliitto SFS. 184 s.
- /16/ Suomen Standardoimisliitto SFS ry. 2006. SFS-EN 3834-1. Metallien sulahitsauksen laatuvaatimukset. Osa 1: Laatuvaatimustason valintaperusteet. Helsinki: Suomen Standardoimisliitto SFS. 17 s.
- /17/ Ruukki. Tuotteet. Rakenneputket. Pyöreät rakenneputket. Pyöreät Ruukki double grade S420MH/S355J2H-rakenneputket. [Ruukin www-sivut]. Päivitetty 5.2.2013 [viitattu 25.2.2013]. Saatavissa: <http://www.ruukki.fi/Tuotteet-ja-ratkaisut/Terastuotteet/Rakenneputket/Pyoreat-rakenneputket/Pyoreat-Ruukki-double-grade-S420MHS355J2H-rakenneputket>

- /18/ Rakennusteollisuus. CE-merkintä rakennustuotteisiin 2013 mennessä. CE yleisesite. [viitattu 5.3.2013] [rakennusteollisuuden www-sivut]. Saatavissa: <http://www.rakennusteollisuus.fi/Tuoteteollisuus/M%C3%A4%C3%A4r%C3%A4ykset+ja+standardisointi/CE-merkint%C3%A4/>
- /19/ Ympäristöministeriö. Ympäristöopas 95: Rakennustuotteiden CE-merkintä rakennustuotedirektiivin mukaisesti – Uusi käytäntö rakennustuotteiden kelpoisuuden osoittamiseen. Helsinki: Edita Prima Oy, 2004. 36 s. ISBN 952-11-1660-9.
- /20/ Teknologiateollisuus ry. Teräsrakenneyhdistys ry. Metsta ry. Teräskokoonpanojen CE-merkintä. Helsinki: Julkaisumonistamo Eteläranta Oy. 16 s. ISBN 978-952-238-095-1.