

# Korkealujuusteräksen hitsaus konepajoissa



Ammattikorkeakoulututkinnon opinnäytetyö

Riihimäki, Kone- ja tuotantotekniikka

Syksy, 2017

Tomi Viiala

Kone- ja tuotantotekniikka  
Riihimäki

---

**Tekijä** Tomi Viiala **Vuosi** 2017

**Työn nimi** Korkealujuusteräksen hitsaus konepajoissa

---

## TIIVISTELMÄ

Opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää kotimaisten konepaja yritysten tietämystä ja kokemuksia korkealujuusteräksen käytöstä ja perehtyä mahdollisiin ongelmiin ja mahdollisesti selvittää voisiko yrityksiä auttaa tarjoamalla jonkinlaisia palveluja HAMKin Ohutlevykeskuksesta, joka toimi opinnäytetyön toimeksiantajana.

Opinnäytetyössä käydään läpi hieman teoriaa teräksistä, hitsauksesta ja korkealujuusteräksen valmistusominaisuuksista sekä niiden käytön hyötyjä ja haittoja. Opinnäytetyössä perehdytään hitsausohjeiden tekoon korkealujuusteräksille ja hitsausohjeen merkitykseen hitsauksessa. Opinnäytetyö suoritettiin lähettämällä kysely koskien korkealujuushitsausta useaan eri kotimaiseen yritykseen.

Tutkimuksen tulosten perusteella huomattiin muutamien hitsausliitosten olevan selvästi yleisempiä, kuin toiset ja siksi kannattaisi keskittyä näihin liitoksiin. Tutkimuksen pohjalta tehdyt johtopäätökset tulee pienen otannan takia ottaa hieman varoen, mutta otanta saattoi jäädä pieneksi pelkäämään sen takia, että yritykset eivät vielä välttämättä tee paljoa korkealujuusteräksen hitsausta. Nekin yritykset, jotka olivat tehneet korkealujuusteräksen hitsauksia, olivat tehneet niitä melko vähän.

**Avainsanat** teräs, teräsrakenteet, hitsaus, hitsausohje

**Sivut** 37 sivua, joista liitteitä 4 sivua

Mechanical engineering and production technology  
Riihimäki

---

**Author** Tomi Viiala **Year** 2017

**Subject** High strength steel welding in workshops

---

ABSTRACT

The goal of this thesis was to find out how much Finnish welding shops know about high strength steel welding and what kind of experiences they have had with it. Focusing on possible problems and how HAMKs Ohutlevykeskus could help them with the problems. Ohutlevykeskus was the commissioner of this thesis.

In the thesis I go through some theory regarding steel, welding, high strength steel welding with manufacturing mechanics for the high strength steel. I also look at the pros and cons of using high strength steel. The main focus point of this thesis is in welding procedure specification (WPS) for high strength steels and why the WPS is so important in welding. This thesis was done by an Internet survey.

Based on the results of the survey I noticed that some of the weld types were more commonly used than others so I made it clear to focus on the more common weld types more in the future. Also the results should not be taken too seriously because of the lack of replies but it can be due to the fact that there are not that many companies doing high strength steel welding at the moment. Most of the companies that answered the survey did not have much experience with high strength steel welding.

**Keywords** high strength steel, steel, weld, welding procedure specification

**Pages** 37 pages including appendices 4 pages

# SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	1
2	KORKEALUJUUSTERÄKSISTÄ JA HITSAUKSESTA .....	1
2.1	Erikoislujat niukkaseosteiset rakenneteräkset .....	1
2.2	Metallien rakenteesta ja muodonmuutoksista.....	2
2.3	Teräksen myötörajan ja metallien lujittamisesta.....	3
2.4	Lujien terästen valinta ja käyttö.....	4
2.4.1	Lujien terästen käytön ongelmia.....	5
2.5	Hitsauksesta .....	6
2.5.1	MIG/MAG-hitsaus.....	6
2.6	Valmistusominaisuuksia .....	7
2.6.1	Hitsauksen vaikutus materiaalien ominaisuuksiin .....	8
2.6.2	Terästen ominaisuusmuutokset hitsauksen ansiosta .....	9
3	HITSAUSOHJEET.....	10
3.1	Hitsausohjeen merkitys korkealujuusteräksiä hitsatessa .....	12
3.2	Hitsausohjeen hyväksyttäminen .....	14
3.3	Hitsausohjeiden laatiminen valitulle liitostyypille .....	16
3.4	Valittujen liitostyyppien menetelmäkoet.....	16
3.4.1	Koekappaleiden muoto ja mitat.....	16
4	TYYPILLISTEN HITSAUSLIITOSTEN KARTOITUS.....	17
4.1	Kyselyn toteutus.....	17
4.1.1	Kysymysten valinta.....	17
4.1.2	Tiedon hankinta.....	18
5	TUTKIMUKSEN TULOKSET.....	18
5.1	Valitut liitostyypit .....	18
5.1.1	Valittujen liitosten koekappaleiden valmistus .....	19
5.1.2	Valittujen liitosten koekappaleiden testaus.....	21
5.2	Johtopäätökset tutkimuksesta.....	26
	LÄHTEET.....	27

## Liitteet

Liite 1	Webropol kysely
Liite 2	Hitsausohje pohja



## 1 JOHDANTO

Opinnäytetyön toimeksiantajana on Hämeen ammattikorkeakoulun Ohutlevykeskus. Työn tarkoituksena oli selvittää tyypillisiä liitostyyppejä, joita käytetään jo nyt tai tullaan tulevaisuudessa käyttämään korkealuusteräksestä valmistetuissa tuotteissa ja tuottaa tietoa hitsausohjeiden saamiseksi edellä mainituille liitostyypeille. Käyn työssä läpikorkealuusteräksien ominaisuuksia, valintaa ja käyttöä, tutkimusmenetelmää ja sen tuloksia, sekä ohjeita hitsausohjeiden luomiseen korkealuusteräksille.

Keskeiset tutkimuskysymykset ovat:

- Millaisia hitsauksia yritykset tekevät nyt?
- Onko korkealuusteräs ollut yrityksille jo aiemmin tuttua?
- Onko heillä ollut ongelmia korkealuusteräksien kanssa ja kaipaisivatko he siihen jonkinlaista apua?

## 2 KORKEALUJUUSTERÄKSISTÄ JA HITSAUKSESTA

Seuraavissa luvuissa käyn läpi korkealuusteräksiä ja hitsausta.

### 2.1 Erikoislujat niukkaseosteiset rakenneteräkset

Erikoislujat niukkaseosteiset rakenneteräkset ovat matalahiilisiä teräksiä. Niiden lujuus on suurempi ja ilmastollinen korroosionkestävyys sekä sitkeys ovat usein paremmat tavallisiin teräsiin verrattuna. Näitä erikoislujia teräksiä käytetään esimerkiksi siltoihin, paineastioihin, putkiin ja moniin muihin tarkoituksiin, nykyään aina lisääntyvässä määrin. (Lindroos, Sulonen & Veistinen 1986, 498.)

Yleisimmin nämä erikoislujat niukkaseosteiset rakenneteräkset ovat ferriittis-perliittisiä, mutta ryhmään kuuluu myös teräksiä, joiden rakenne voi olla esimerkiksi bainiittia tai ferriittia ja martensiittia. Hyvien lujuusominaisuuksien ja hitsattavuuden lisäksi näiltä erikoisteräksiltä vaaditaan myös alhaista transitio lämpötilaa ja hyvää muovattavuutta. (Lindroos ym. 1986, 498.)

Erikoislujien niukkaseosteisten rakenneterästen lujuus saavutetaan esimerkiksi raekokoa hienontamalla, erkautuslujittamisella tai dislokaatiorekenteilla. Terästen sitkeyttä ja muovattavuutta pyritään parantamaan sulkeumien muotokontrollilla sekä rikki- ja hiilipitoisuutta alentamalla. (Lindroos ym. 1986, 498.)

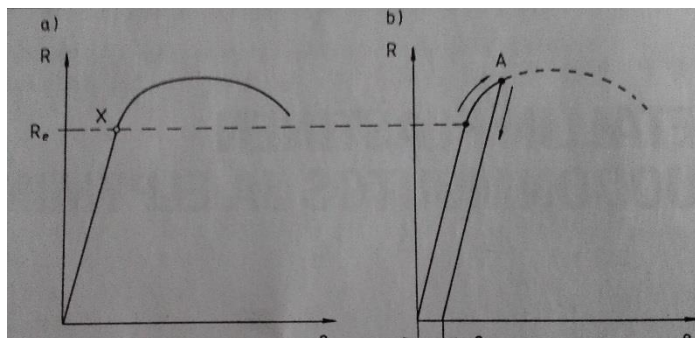
## 2.2 Metallien rakenteesta ja muodonmuutoksista

Teräs- ja metalliseoksissa yleisimmin esiintyvät alkuaineet ovat rauta, hiili, kromi, nikkeli, molybdeeni, boori, koboltti, vanadiini, mangaani, niobi, titaani. Yleisimmät haitta-aineet ovat fosfori, typpi ja rikki. Muita tuotteen valmistukseen mahdollisesti käytettäviä aineita ovat alumiini, kupari ja sinkki. (Sorsa 2015, 28.)

Metallisen kappaleen sisäinen rakenne on monitahoinen. Metallit ovat tavallisesti kiteisiä. Kide rakentuu hilasta, eli atomien säännöllisestä järjestyksestä. Hilassa on kuitenkin hilavikoja, jotka ovat epäsäännöllisyyksiä. Nämä hilaviat ja metallin sisäinen rakenne vaikuttavat moniin ominaisuuksiin. Kiteiden koon merkitys esimerkiksi on huomattava. Sisäistä rakennetta pystyy kuitenkin erilaisin menetelmin muokkaamaan ja näin ollen vaikuttamaan metallin moniin ominaisuuksiin.

Metallin ominaisuudet ovat riippuvaisia sen koostumuksesta, käsittelytilasta ja sen sisäisestä rakenteesta. Näihin ominaisuuksiin kuuluu esimerkiksi lujuus, kovuus, muovattavuus, iskutkeys ja monia muita. Ajan kuluessa, jotkin metallin ominaisuudet voivat myös muuttua, jolloin on kyse metallin vanhenemisesta. (Koivisto, Laitinen, Niinimäki, Tiainen, Tiilikka, Tuomikoski 2006, 37)

Kun metallikappaleeseen laitetaan vaikuttamaan jokin kuormittava voima, alkaa metallikappaleen muoto muuttua. Tämä muodonmuutos on aluksi palautuva, mutta tietyn raja-arvon ylitettyään muodonmuutos muuttuu pysyväksi eli plastiseksi. Tätä rajaa nimitetään myötölujuudeksi.



Kuva 1. Jännitys-venymä-piirros. (Konetekniikan materiaalioppi 2006, 64)

Plastisessa muodonmuutoksessa kiteen osat liukuvat. Liukuminen tapahtuu suhteessa toisiin kiteisiin ja se vaatii normaalisti dislokaatioita. Jos näitä liikkeitä vaikeutetaan, niin

metalli lujittuu, kun sen myötölujuus kasvaa. Tämä muovautumiskyky on metalleille tyypillistä. Muovaaminen voi tapahtua metalleille kylmänä tai kuumana. Muokkauksen aiheuttamat sisäiset muutokset eivät kuitenkaan ole pysyviä. Kylmänä muokattu metalli voidaan saada elpymään muokkauksen vaikutuksista kuumentamalla sitä ja näin esimerkiksi sen lujuus vähenee. (Koivisto ym. 2006, 63)

### 2.3 Teräksen myötöraja ja metallien lujittamisesta

Teräs sisältää aina hiiltä ja typpeä. Niistä on liennut pienikokoisia välisija-atomeja ferriitin hilaan. Käytettävissä oleva tila on kuitenkin ahdas, joten atomit yrittävät päästä tilavampaan tilaan ja ferriitin hila vääristyy. Tällainen on dislokaation niin sanottu löysä puoli, johon muodostuu hiili- ja typpiatomien kertymiä, jotka ankkuroivat dislokaation. Ankkuroituminen tässä tapauksessa tarkoittaa sitä, että dislokaation saamiseen liikkeelle vaaditaan entistä suurempi ulkoinen jännitys. Tämä merkitsee suurempaa myötölujuutta. Ulkoisen kuormituksen kasvaessa tarpeeksi suureksi, alkavat dislokaatiot irrota pilvistään, jolloin siirrosliukuminen käynnistyy ja teräksen pysyvä muokkautuminen alkaa. Myötöalueella on yleensä alempi ja ylempi myötöraja, joista alemmaa käytetään esimerkiksi lujuuslaskuissa. (Koivisto ym. 2006, 65)

Teräksellä siirrosliukuminen on yleisin muodonmuutosmekanismi, jolla voidaan parantaa lujuutta vaikeuttamalla dislokaatioiden liikkumista. Tätä periaatetta käytetään eri menetelmin, jotka perustuvat seostukseen lämpökäsittelyyn tai muokkaamiseen. Metallien lujittamiskeinoja ovat:

- a. Liuoslujittaminen, jossa metallia seostetaan siihen liukenevilla aineilla, useimmiten toisilla metalleilla.
- b. Erkautuslujittaminen, jossa sopivasti seostetun metallin liukutasoille saadaan luotua pieniä erkaumia. Tässä dislokaation liikkuminen hankaloituu, kun se kohtaa erkauman.
- c. Partikkelilujittaminen. Pieni vieras hiukkanen, jonka raeraja erottaa ympäröivästä rakenteesta vaikeuttaa dislokaation liikettä, kun se on liukutasolla.
- d. Myötövanhentaminen. Tässä keinossa dislokaatiot lukittuvat tavalla, joka aiheuttaa lujittumisen, koska dislokaatioiden liikkuminen vaikeutuu lukittumisen takia.
- e. Muokkauslujittamisessa kylmämuokkaus johtaa lujuuden ja kovuuden kasvuun, mutta samalla aiheuttaa sitkeyden vähentymistä.
- f. Faasimuutoksien hyväksikäyttö. Metallin sisältäessä lujuudeltaan erilaisia kiteitä, voidaan metallin lujuutta parantaa lisäämällä lujempien kiteiden osuutta rakenteessa. Toisinaan mikrorakennetta voidaan myös muuttaa toisenlaiseksi, lujemmaksi faasiksi. Esimerkiksi martensiitillä karkaistaessa.



- g. Raerajalujittaminen. Dislokaatiot liikkuvat pitkin liukutasoja, jotka ovat samalla kiteen hilatasoja. Raerajalla viereisten kiteiden hilasuunnat ja siten myös liukutasojen suunnat poikkeavat toisistaan. Dislokaatio ei voi ylittää raerajaa, ellei dislokaatiota liikuttava ulkoinen jännitys kasvaa.

Näiden lisäksi metalleja voi lujittaa myös saattamalla metalli valmistusvaiheessa amorfiseen tilaan ja eräät komposiittitekniikan sovellukset. (Koivisto ym. 2006, 67)

## 2.4 Lujien terästen valinta ja käyttö

Lujilla teräksillä on seuraavanlaisia etuja verrattuna seostamattomiin rakenneteräksiin:

- suunnittelujännitys on korkeampi, joten materiaali-, valmistus- ja kuljetuskustannukset ovat pienemmät
- suurempi hyötykuorma, rakenteen painosta tulee pienempi ja lujalla teräksellä
- parempi hinta/lujuus-suhde. (Metalliteollisuuden Keskusliitto 2001, 81)

Lujia teräksiä käytettäessä rakenteissa menestyksekkäästi, tulee suunnittelussa ottaa huomioon etenkin rakenteen muoto ja liitostapa, hitsiliitoksen sijainti ja muoto sekä aineenpaksuus. Toinen tärkeä tekijä on myös käyttöolosuhteet, jännitysten suuruus ja vaihtelu, kuormitusnopeus, lämpötila ja korroosiotekijät. (Metalliteollisuuden Keskusliitto 2001, 81)

Lujille hitsattaville teräksille tyypillisiä käyttökohteita ovat erityisesti rakenteet, joissa rakenteen painon pienentäminen on edullista. Tällaisia ovat esimerkiksi kuljetuskalusto, nosturit, voimajohtopylväät, laivanrakennus ja sillat. Sopivia käyttökohteita ovat myös osat, joilta vaaditaan kulutuskestävyyttä mekaanista hankausta vastaan. Esimerkiksi kaivinkoneiden kauhat tai kuljetuslavat. Lujilla teräksillä on suuri kimmoinen alue, minkä ansiosta se kestää kovempia kolhaisuja kuin tavallinen pehmeämpi teräs, joten sitä on hyödyllistä käyttää myös esimerkiksi kaivosten siirtokouruissa. Myös kunnossapito on yksi mahdollinen käyttöalue. Yhdellä teräksellä, joka on sopivasti valittu, voidaan hoitaa useat korjaustyöt. (Metalliteollisuuden Keskusliitto 2001, 81)

Rajoittavia tekijöitä lujille teräksille ovat suuret jäännösännitykset hitsauksen tai kylmämuokkauksen jälkeen, koska ne voivat aiheuttaa haurasmurtumia, väsymistä ja jännityskorroosiota. Myös sallittu vikakoko pienee, kun teräksen lujuus kasvaa, joten tarkastusvaatimukset ovat myös

suuremmat. Rakenteen keventäminen saattaa aiheuttaa jäykkyyden pientymistä, josta voi aiheutua muodonmuutoksia tai ominaistajuuden muutoksia. Lujien terästen hitsaaminen on myös usein vaativampaa kuin yleisillä rakenneteräksillä. (Metalliteollisuuden Keskusliitto 2001, 82)

#### 2.4.1 Lujien terästen käytön ongelmia

Ongelmia ja huomioitavia seikkoja lujien materiaalien käytössä liittyy sekä rakenteiden mitoittamiseen että materiaaliominaisuuksien alueeseen. Lujan materiaaliin saattaa lisäksi liittyä yllättäviäkin käytännön ongelmia. Rakenteita mitoittaessa lujia materiaaleja käyttämällä pyritään yleisesti painonsäätöön ottamalla käyttöön ohuempia, mutta lujempia materiaaleja. Tällöin erityistä huomiota tulee kiinnittää kuormankantokyvyn toteutukseen ja tarkistaa, että rakenteet ovat stabiileja. Materiaalin ominaisuuksien kannalta on muistettava, että kun lujuus kasvaa, niin sitkeys melkein poikkeuksetta laskee. Poikkeuksena tässä ovat raekoon hienontamiseen perustuvat menetelmät. Erityisen kriittisiä tältä kannalta ovat kylmämuokatut, kovaksi karkaistut sekä valetut materiaalit.

Myös hitsattavuus heikkenee materiaalin lujuuden kasvaessa. Teräksissä tulee hitsatessa käyttää erityistoimia, kuten esimerkiksi esilämmitys ja kontrolloitu jäähdytys. Kaikki erityistoimet lisäävät kustannuksia ja myös hankaloittavat työskentelyä. Useiden lujittamismenetelmien luoma lujuuden lisäys saatetaan menettää hitsauksesta johtuvien rakennemuutosten takia.

Lujuuden kasvaessa heikkenee myös materiaalin muovattavuus ja koneistettavuus. Materiaalin väsymislujuus ei kuitenkaan välttämättä muutu materiaalissa staattisten lujuusominaisuuksien suhteessa. Loviherkkyys on erityisen yleinen lisääntymään lujuuden kasvaessa.

Jäännösmagnetismi voi tulla terästen käytön kohdalla myös ongelmaksi. Joissakin tapauksissa magneettinosturit on jouduttu kieltämään ja materiaali on täytynyt demagnetoida ennen hitsauksen aloittamista. Kaarihitsatessa magnetoitunutta materiaalia hitsauksessa saattaa esiintyä magneettista puhallusta, joka tekee erityisesti juuripalon hitsaamisen mahdottomaksi.

Materiaalin lujien sisäisten jännitysten ollessa normaalia korkeammalla tasolla ja epähomogeenisemmin jakautuneita, voi seurata yllättäviäkin muodonmuutoksia ja vetelyjä valmistus vaiheessa. Myös alentunut sitkeys yhdessä jännitystason kanssa voi johtaa repeämiseen rakenteissa valmistuksen aikana. (Koivisto ym. 2006, 290)

## 2.5 Hitsauksesta

Hitsauksessa kappaleita liitetään toisiinsa tai pinnoitetaan kappaleita tuomalla sulaan liitospintaan tai -pintoihin soveltuva lisäainetta. Kun lisäaine ja sula perusaine jäähtyvät, liittyvät ne toisiinsa luoden kiinteän liitoksen. Hitsausprosessit voidaan jakaa kahteen pääryhmään, sulahitsaus ja puristushitsaus. Sulahitsauksessa hitsattavien liitoskohtien pintoja kuumennetaan sulamispisteeseen asti, jolloin pinnat sulavat yhteen ilman puristusta. Tämä voidaan tehdä ilman lisäainetta tai lisäaineen kanssa. Puristushitsauksessa ei käytetä lisäainetta ollenkaan. Siinä kuumennetaan liitoskohtien pinnat tahdasmaiseen lämpötilaan ja puristetaan ne tietyllä voimalla yhteen. Jolloin syntyy kiinteä liitos. (Lepola & Ylikangas 2016, 13)

Teräksen lujuuden kasvaminen aiheuttaa usein hitsauksen hankaloitumisen. Lujien hitsattavien terästen käyttö edellyttää asiantuntemusta hitsatun rakenteen valmistajalta ja myös rakenteen suunnittelijalta. Mikäli mahdollista, tulisi tuote suunnitella niin, että hitsit eivät tule rasitetuimpiin kohtiin. (Metalliteollisuuden Keskusliitto 2001, 88)

### 2.5.1 MIG/MAG-hitsaus

MIG/MAG-hitsaus eli metallikaari, inerttinen kaasu/metallikaari, aktiivinen kaasu on puoliautomaattinen hitsausmenetelmä, jossa lisäaineena toimii lanka, jota syötetään automaattisesti vakionopeudella suojakaasulla suojattuun hitsauskohtaan. Hitsauskohdassa lisäainelangan kärjen ja perusaineen välissä oleva palava valokaari sulattaa molempia aineita. Inerttisenä eli passiivisena suojakaasuna käytetään argonia tai argonin ja heliumin kaasuseoksia. Aktiivisina suojakaasuina käytetään hiilidioksidin ja argonin kaasuseosta tai argonin ja hapen kaasuseosta. (Lepola & Ylikangas 2016, 71)

MIG/MAG-hitsauksen etuihin kuuluvat seuraavat asiat:

- puoliautomaattinen hitsaus, jossa lisäaineen syöttö on jatkuvaa, joten lisäaineen vaihtojen takia ei tule katkoksia hitsiin
- ei muodosta kuonaa ja kuona sulkeumien vaara on pieni
- virran avulla voidaan säätää tunkeumaa
- hyvä tuottavuus
- hitsaustehon säätömahdollisuudet ovat laajat
- lisäaine on edullista
- MIG/MAG-hitsauksella voidaan hitsata kaikissa asennoissa ja soveltuu myös ohutlevyjen hitsaamiseen

Huonoja puolia taas ovat:

- tuuli ja veto aiheuttavat hankaluuksia
- ulottuvuus ja hitsauskohteen luoksepäästävyys ovat rajoitetut
- ei sovellu asennus työmaaolosuhteisiin
- hitsausarvojen säätö hankalampaa ja laitteisto vaatii enemmän huoltoa, kuin esimerkiksi puikkohitsauksessa ja myös lisäainevalikoima on pienempi. (Lepola & Ylikangas 2016, 82)

## 2.6 Valmistusominaisuuksia

Teräksen muodonmuutoskyky määrittää sen, miten ohuena levynä, putkenä tai lankana sitä on saatavissa. Se myös määrittää, miten mutkikkaita profiileita tai takeita siitä on mahdollista saada. Muovattavuus voi olla tärkeä ominaisuus valssauksen jälkeenkin, esimerkiksi levyjen särmäyksessä tai putkien taivutuksessa. Muovattavuus voi olla tärkeää myös hitsauksessa, karkaistaessa tai valukappaleen jäähtymisessä, jolloin suurimpien jännitysten alaisen aineen täytyy myötyä. Teräksen ollessa hyvä muodonmuutoskyvylltään se säilyy varmimmin ehyenä. Hyvä muovattavuus ei kuitenkaan tarkoita sitä, että muovaukseen tarvitsisi vaon pienen määrän voimaa, vaan, että suurenkaan muodonmuutoksen aikana ja sen jälkeen tuote ei repeydy tai säröile. (Koivisto ym. 2006, 129)

Yleensä hiilipitoisuus vaikuttaa selvästi teräksen muovattavuuteen. Mitä vähemmän hiiltä teräksessä on, sitä paremmin se muovautuu. Teräksen kylmämuovattavuus on erinomainen, kun hiilipitoisuus on enintään 0,05%. Tällaista terästä on esimerkiksi ohutlevyteräs. Teräksen kuumamuovaus on paljon yleisempään kuin kylmämuovaus silloin, kun teräksen mikrorakenne on austeniittia. Tällöin teräksen hiilipitoisuudella ei ole niin suurta vaikutusta, mutta se on kuitenkin merkittävä. Tässäkin tapauksessa vähähiilinen on parempaa muovattavuudelta, kuin runsashiilinen. (Koivisto ym. 2006, 129)

Teräksen vanheneminen lisää lohkomurtumataipumusta rakenteessa, jossa sitä ei hitsauksen jälkeen vielä tuoreeltaan näy. Teräksen sisältämistä alkuaineista vanhenemistaipumusta lisää eniten typpi. Hitsattavien rakeneterästen standardit ottavat hitsattavuutta huonontavien aineiden maksimipitoisuudet huomioon. Nykyisissä teräksissä standardeissa olevat rajat kuitenkin alitetaan usein hyvinkin selvästi. Standardit sisältävät myös tarkat ohjeet näytteenottoa varten. (Koivisto ym. 2006, 130)

### 2.6.1 Hitsauksen vaikutus materiaalien ominaisuuksiin

Sulahitsauksen tavoitteena on, ettei liitoksesta tule rakenteen heikoin lenkki. Sulahitsaus on materiaalin kannalta kuitenkin väkivaltainen tapahtuma, koska sen liitoksen muodostumisessa tärkeintä on liitettävän materiaalin ja lisäainetta käyttäessä myös lisäaineen paikallinen sulaminen, jähmettyminen ja jäähtyminen. Ongelmaksi nousee se, että, kun lujuus perustuu ei-tasapainotilan mukaiseen mikrorakenteeseen, niin hitsauksesta aiheutuva lämpötilan nousu pyrkii muuttamaan myös rakennetta. Tämän tapahtuessa muuttuvat myös ominaisuudet, useimmiten huonompaan suuntaan. (Koivisto ym. 2006, 291)

Teräksien hitsattavuuden arvosteluperusteina toimivat: taipumus kuumahalkeamiin, kylmähalkeamiin ja vanhenemiseen sekä hitsisauman eri vyöhykkeiden sitkeysarvot. Näiden lisäksi myös lujuusvaatimukset tulee täyttyä.

Kuumahalkeama syntyy keskelle hitsiä, kun hitsi kutistuu jäähtyessään. Perusainetta sulaa hitsatessa lisäaineen joukkoon, jonka takia perusaineen koostumus vaikuttaa myös kuumahalkeamataipumukseen. Pahin kuumahalkeamia aiheuttava aine teräksessä on tässä mielessä rikki, joka suotautuessaan heikentää hitsin viimeiseksi jähmettyvää kohtaa.

Kylmähalkeamat syntyvät, hitsin jäähtyessä perusaineen puolelle jonkin matkan päähän itse hitsistä. Kylmähalkeamia voi kuitenkin syntyä myös hitsiaineeseen. Tämän aiheuttaa hitsisulaan joutunut vety, sekä martensiitin muodostuminen, joka aiheuttaa kylmäksi jäähtyneessä teräksessä paikallisia tilavuudenmuutoksia. Hiili on teräksen sisältämistä alkuaineista se, joka pahentaa taipumusta kylmähalkeamiin, koska martensiitin syntymään liittyy sitä suurempi tilavuudenmuutos ja martensiitti on sitä kovempaa ja hauraampaa, mitä suurempi hiilipitoisuus teräksessä on. Seosaineet myös pahentavat taipumusta kylmähalkeamiin, koska ne lisäävät teräksen karkenevuutta ja johtavat siten martensiittisempaan ja hauraampaan rakenteeseen. Mikäli seostamattomassa teräksessä on pienempi tai yhtä kuin 0,18% hiiltä, katsotaan sen hitsattavuuden olevan hyvä. Seosaineiden vaikutus voidaan tarkastaa niin sanotun hiiliekvivalentin avulla:

$$CEV = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cr+Mo+V}{5} + \frac{Ni+Cu}{15} \quad (1)$$

Hitsattavuus katsotaan hyväksy karkenemishalkeamien vaaran kannalta, jos  $CEV \leq 0,41\%$ .

(Koivisto ym. 2006, 130)

## 2.6.2 Terästen ominaisuusmuutokset hitsauksen ansiosta

Sulahitsaus teräksissä tarkoittaa valumatapahtumaa joka on paikallinen, sekä erilaisten lämpökäsittelyjen sarjaa lähellä hitsauskohtaa. Tästä johtuen rakennemuutokset ovat useimmiten huonoja erityisesti teräksen sitkeyden kannalta, mutta myös muiden teräksen ominaisuuksien kannalta. Lujuusominaisuuksien muutokset hitsauksen yhteydessä eivät kuitenkaan usein ole katastrofaalisia, jos tarkastellaan niukkaseosteisia ja erikoislujuja rakenneteräksiä, erkaumalujitettuja seoksia tai kylmämuokattuja materiaaleja. Rakennemuutokset, jotka johtuvat hitsauksesta riippuvat teräksen koostumuksesta, hitsauksen maksimilämpötilasta ja sen pitoajasta sekä jäähtymisnopeudesta. (Koivisto ym. 2006, 291)

Kylmämuokattu materiaali on sekä rakenteellisesti että ominaisuuksiensa suhteen metastabiilissa tilassa. Sulahitsatessa lämpövyöhykkeen lämpötila nousee niin korkeaksi, että materiaali rekristalloituu. Tämän tuloksena syntyy vyöhyke sularajan takaiselle alueelle, joka on pehmeä. Tämä pehmeä alue on paljon heikompi kuin muuttumattoman perusmetalli ja tällöin liitoksesta tulee rakenteen heikko lenkki. Tämän lisäksi liitoksen lujuutta on vaikea korjata, joten rakenteen mitoittaminen täytyy tehdä heikketun metallin lujuusarvon perusteella. Kylmämuokatun rakenteen sitkeys kuitenkin paranee ja muodonmuutoskyky palautuu hitsauksen takia rekristallisoituneella alueella. Tästä syystä väsymyskestävyys ei aina huonone ja kuormitusjännitysten aiheuttama muodonmuutos ja sen muokauslujittuminen voi korjata tilannetta. Kylmämuokkauksen tuottamaa lujuutta ei voida kuitenkaan hitsatuissa rakenteissa täysin hyödyntää. Käytännössä hyvin pientä hitsausenergiaa käyttäviä menetelmiä voidaan pienentää pehmenneitä alueita, mutta halutessa säilyttää lujuus tulisi löytää muita liittämismenetelmiä kuin sulahitsaus. (Koivisto ym. 2006, 295)

Erkaumalujitettujen materiaalien lujuuden taustalla on tyypillisesti koherentit erkaumat, jotka ovat epästabiileja lämpötilaa vastaan. Kun lämpötila kohoaa, erkauma ylivanhenee ensin ja riittävän korkeaksi nousseessa lämpötilassa se liukenee takaisin matriisiin. Tällaisissa tilanteissa erkautumiseen liittyvä lujuus menetetään. Hitsatessa materiaalia sularajan taakse muodostuu kaksi vyöhykettä. Heti sularajan takana on liuosheikutettu vyöhyke ja, jos tämä vyöhyke jäähtyy, syntyy siihen stabiileja, useimmiten epäkoherentteja sulkeumia, jotka pyrkivät asettumaan raerajoille. Tästä seuraa raerajojen haurastuminen ja lisäksi lujuus laskee liuoslujitetun materiaalin tasolle. Kauemmassa vyöhykkeessä on ylivanhentuneita erkaumia. Tämänkin vyöhykkeen lujuus on laskenut. Liitoksen lujuus voidaan kuitenkin palauttaa hitsauksen jälkeen, mutta se edellyttää koko rakenteen liuosheikutusta, sammutusta ja vanhennusta. Käytännössä tämä on kuitenkin useimmiten hankalaa kappalekoon ja mahdollisten muodonmuutosten takia. Sulahitsatuissa rakenteissa erkaumalujitettujen materiaalien lujuutta on vaikea hyödyntää täysimääräisesti.

Materiaalien kannalta katsottuna sulahitsaus on erittäin väkivaltainen ja jopa epäonnistunut liittämismenetelmä. Rakenteiden valmistuksen kannalta se on kuitenkin mukava ja käytännöllinen. Kylmämuokatuille ja erkaumalujitetuille olisi kuitenkin parempi käyttää muita liittämismenetelmiä, halutessa säilyttää niiden lujuus täysimääräisesti rakenteessa. (Koivisto ym. 2006, 296)

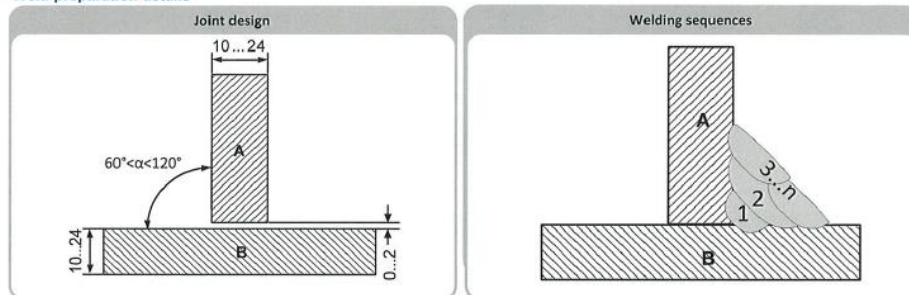
### 3 HITSAUSOHJEET

Hitsausohjeet ovat tarkoitettu hitsauksen suunnittelun perustaksi ja laadunvalvontaan. Hitsaus luokitellaan erikoisprosessiksi laatustandardien terminologiassa. Nämä standardit edellyttävät, että erikoisprosesseissa tulee noudattaa kirjallisia menettelyohjeita. Näiden ohjeiden käyttö toimii perustana sille, että hitsit täyttävät tarvittavat vaatimukset. Tuotannossa voidaan hitsausohjeella varmistaa, että kaikki työntekijät käyttävät samoja säätöarvoja hitsatessaan. Hitsausohjeessa esitetään seuraavat asiat: perusaine, ainepaksuus, railomuoto ja railon valmistus, hitsausprosessi, hitsausaineet, hitsausparametrit, työlämpötila ja lämpökäsittelyt. (Lepola & Ylikangas 2016, 239)

WPQR no: <b>MK 135-FW-8</b>	Method of preparation and cleaning: <b>Cutting and grinding</b> Throat thickness (mm): <b>no restriction</b> Preheat Temperature (°C): <b>≥ 5</b> Interpass Temperature (°C) : <b>≤ 250</b>	Welding position: <b>PF</b> Distance contact tube/workpiece (mm): <b>15...20</b> Mode of metal transfer: <b>Short circuiting transfer</b> Weld details: <b>ml</b>
Manufacturer: <b>Kemppi Oy, Lahti, Finland</b> Joint type and weld type: <b>FW, P/T</b>		

**Identification of parent material**

Parent material	Group EN ISO 15608	Standard	Range of thickness (mm)	Range of outside diameter (mm)
A S235/S275/S355 ReH <sub>s</sub> 355N/mm <sup>2</sup>	1.1/1.2/1.4	EN 10025-2	10...24	> 500
B S235/S275/S355 ReH <sub>s</sub> 355N/mm <sup>2</sup>	1.1/1.2/1.4	EN 10025-2	10...24	> 500

**Weld preparation details**

**Welding parameters**

Run	Welding process	Size of filler material $d$ (mm)	Current $I$ (A)	Voltage $U$ (V)	Type or current/ polarity DC-/DC+	Wire feed speed (m/min)	Travel speed $v$ (mm/min)	Heat input $Q$ (kJ/mm)
1	135	1,0	130...160	17...19	DC+	4...5	120...155	0,69...1,15
2	135	1,0	110...140	17...19	DC+	4...5	70...120	0,75...1,82
3...n	135	1,0	110...140	17...19	DC+	4...5	70...120	0,75...1,82
1	135	1,2	120...150	17...19	DC+	3...4	100...140	0,70...1,37
2	135	1,2	120...150	17...19	DC+	3...4	90...130	0,75...1,52
3...n	135	1,2	120...150	17...19	DC+	3...4	90...130	0,75...1,52

**Identification of filler materials**


Standard	Designation	Filler material handling
EN ISO 14341-A	G 42 2 M/G3S1 G 42 3 M/G3S1 G 42 4 M/G3S1 a)	See filler material manufacturer's instructions

**Identification of shielding gas**

Standard	Group	Shielding gas flow rate:
EN ISO 14175	M21	15...20 l/min

**Other information**

a) Filler materials that comply with the classifications above can be used, such as Esab OK Autrod 12.51, Elgamatic 100, Böhler EMK6.



Dr. Petteri Jernström  
 Kemppi Oy, Manufacturer



IWE Kari Juvonen  
 Inspecta Tarkastus Oy, Notified body

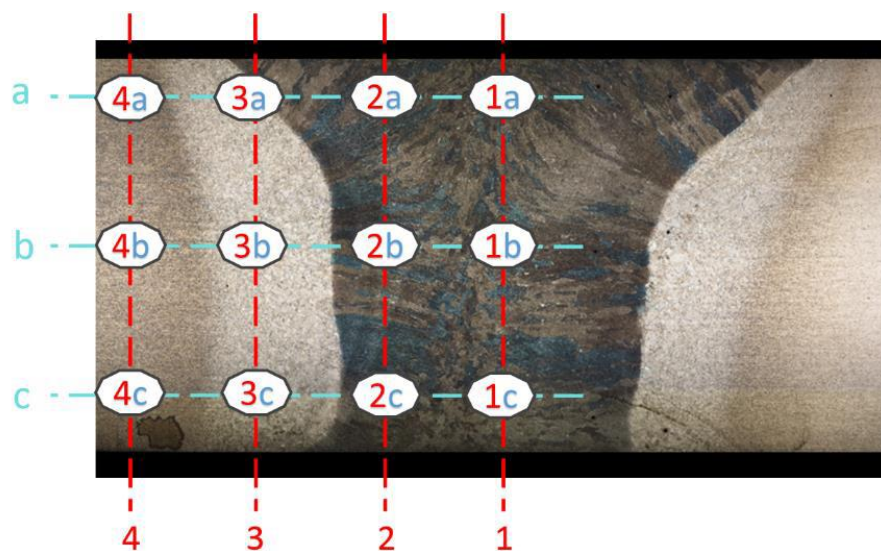
Kuva 3. Esimerkki hitsausohjeesta. (Hitsausohjeet lujille rakenneputkille, 2014, 3)



### 3.1 Hitsausohjeen merkitys korkealujuusteräksiä hitsatessa

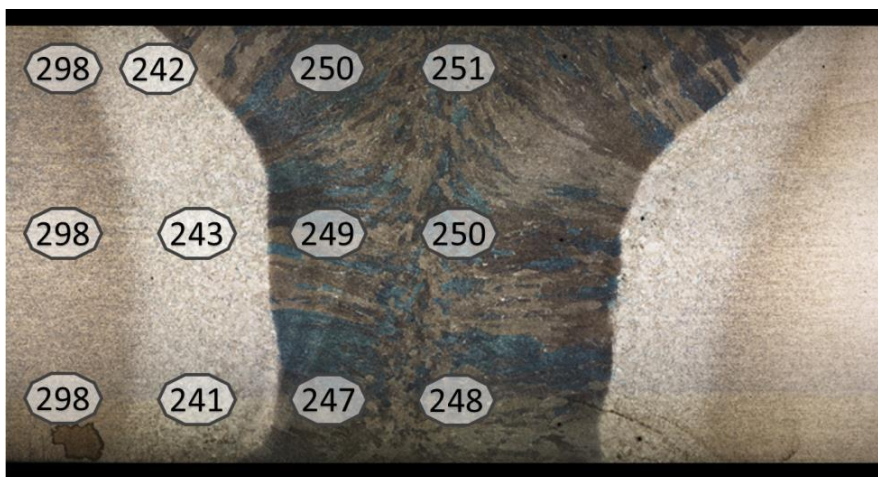
Hitsatessa teräksen mekaaniset ominaisuudet muuttuvat muutosvyöhykkeen alueella. Lämmöntuonti, sekä jäähtymisaika vaikuttavat siihen vaikuttavat siihen, millainen hitsin lopputulos on. Esimerkiksi liian lyhyt jäähtymisaika tai riittämätön lämmöntuonti voi johtaa hitsausvirheisiin. Tästä syystä on tärkeää tarkkailla, että hitsausohjeen parametreja seurataan. (Blerand oppari 2016, 10)

Esimerkkinä hitsausohjeen tärkeydestä mikroskooppinäkymä hitsausliitoksesta (kuva X), jossa näkyy alueet, joista kovuus testit on tehty. Pisteet 1a-1c ja 2a-2c ovat hitsin lisääineen alueella. Pisteet 3a-3c ovat muutosvyöhykkeen alueella, jossa teräksen molekyyli rakenne on muuttunut lämmöntuonnista ja jäähtymisestä johtuen. Pisteet 4a-4c taas ovat perusainetta, johon lämmöntuonti ei ole päässyt vaikuttamaan ja sen ominaisuudet ovat säilyneet samana kuin mitä ne olivat ennen hitsiä. (Havula 2017.)



Kuva X, Kovuuskokeiden sijainti pisteet. (Blerand oppari 2016, 22)

Edellä mainitun kovuus testin visuaalinen esitys voidaan nähdä kuvassa Y ja Z. Kovuus arvojen sijainti on arviointi mikroskooppi kuvien perusteella.



Kuva Y, Yhden palon hitsi. (Blerand oppari, 2016, 19)

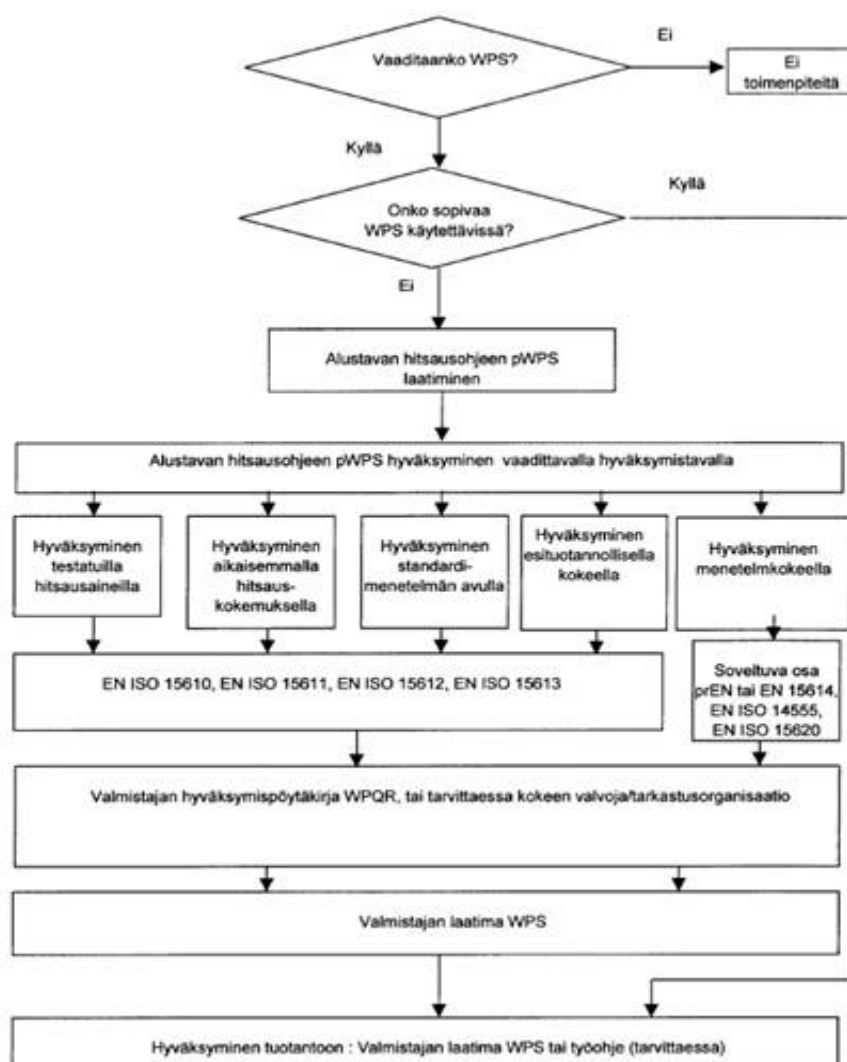
Kuten kuvasta Y näkyy, niin kaikista pienimmät kovuus arvot löytyvät muutosvyöhykkeen alueelta ja suurimmat arvot perusaineen alueelta. Tämän johtuu siitä, että hitsaus on tehty yhdellä kertaa, joten lämmötuonnin on oltava suuri ja jäähtymisaikankin tällöin pidempi. Kuvasta Z taas voimme todeta, miten kolmella palolla hitsatessa itse lisäaineen alueen kovuus nousee huomattavasti verrattuna yhdellä palolla hitsattuun saumaan. Koska useammalla palolla hitsatessa lämmötuonnin ei tarvitse olla yhtä suuri ja jäähtymisaika on pienempi, myös muutosvyöhykkeen alue ei menetä niin paljoa kovuutta, mutta se on silti hitsisauman heikoin kohta. (Havula 2017.)



Kuva Z, Kolmen palon hitsi. (Blerand oppari, 2016, 24)

### 3.2 Hitsausohjeen hyväksyttäminen

Hitsausohjeita voi hyväksyttää viidellä eri tavalla. Yleisin periaate on, että ensin laaditaan niin sanottu alustava hitsausohje (pWPS), joka voidaan myöhemmin hyväksyä varsinaiseksi hitsausohjeeksi (WPS) tietyillä dokumentointitavoilla. Standardi SFS-EN ISO 15607 sisältää tarkat tiedot hitsausohjeiden hyväksyttämistä. (Lepola & Ylikangas 2016, 239)



Kuva 4. Kulkukaavio hitsausohjeen luomiselle ja hyväksymiselle. (Hitsausohjeet lujille rakenneputkille, 2014, 3)

Testatut hitsausaineet (SFS EN ISO 15610)

Testattujen hitsausaineiden hyväksymistapaa käytetään, kun hitsattavalla tuotteella ei ole erityisiä hitsejä koskevia vaatimuksia asetettuna. Tämä tapa soveltuu seostamattomille teräksille, austeniittisille ruostumattomille teräksille ja alumiineille. Lisärajoituksena tosin on ainepaksuus  $3\text{mm} \leq t \leq 40\text{mm}$ , a-mitta  $\geq 3\text{mm}$  ja putken  $D > 25\text{mm}$ . (Lepola & Ylikangas 2016, 239)

#### Aikaisempi hitsauskokemus (SFS-EN ISO 15611)

Mikäli valmistaja voi luotettavalla dokumentoinnilla osoittaa, että valmistaja on vähintään vuoden ajan hitsannut parametreja kyseisiä liitosmuotoja ja materiaaleja käyttäen, voidaan hitsausohje hyväksyä. Lisäksi, jos hitsattua tuotetta on käytetty vähintään viisi vuotta, ilman huomautuksia hitseissä, voidaan hitsausohje hyväksyä. Hitsejä tulee olla testattu esimerkiksi aineenkoestuksella tai painekokeella. (Lepola & Ylikangas 2016, 240)

#### Standardimenetelmä (SFS-EN ISO 15612)

Tässä menetelmässä käytetään aiemmin menetelmäkokeella hyväksyttyä standardihitsausohjetta. Menetelmän käyttö vaatii, että käyttäjällä on hitsauskoordinaattori, joka vastaa hitsauksesta ja menetelmässä tulee myös noudattaa EN 3834 mukaisia laatuvaatimuksia. (Lepola & Ylikangas 2016, 240)

Standardimenetelmää on alettu suosia EN 1090 standardin takia huomattavasti enemmän. Joiltain hitsauskonevalmistajilta voikin nykyään ostaa standardimenetelmäkoepaketteja, jotka riittävät perusaineen lujuuteen S355. (Lepola & Ylikangas 2016, 240)

#### Esituotannollinen koe (SFS-EN ISO 15613)

Esituotannollisen kokeen avulla hitsausohje voidaan hyväksyä, jos menetelmäkoestandardin mukaiset koekappaleet eivät kuvaa muotojen ja mittojen takia testattavaa hitsausliitosta tarpeeksi hyvin. (Lepola & Ylikangas 2016, 240)

Esituotannollinen koe voidaan tehdä yhdelle tai useammalle kappaleelle, joiden tulee vastata tuotannossa valmistettavia liitoksia. Koe tulee tehdä ennen tuotannon aloittamista, olosuhteissa, jotka vastaavat tuotannon olosuhteita. Nämä kappaleet testataan usein myös menetelmäkokeella, mutta koekappaleille voidaan asettaa yksilölliset vaatimukset. (Lepola & Ylikangas 2016, 240)

#### Menetelmäkokeet (SFS-EN ISO 15614-1/8)

Hitsien ollessa rakenteen kannalta kriittisiä, tulee käyttää menetelmäkoetta. Menetelmäkoetta varten luodaan alustava hitsausohje (pWPS), jonka mukaan koekappaleet hitsataan yhteen tuotantoa vastaavalla tavalla. Kokeessa käytettävien kappaleiden tulee olla tarpeeksi suuria, jotta saadaan aikaiseksi kohtuullinen lämmönjakauma. Hitsauksen jälkeen koekappaleet tarkastetaan ja testataan standardin SFS-EN ISO 15614-1/8 mukaisesti. Hyväksytyyn menetelmäkokeeseen jälkeen voidaan alustava hitsausohje muuttaa hitsausohjeeksi. Menetelmäkokeesta tulee myös aina laatia WPQR-asiakirja, josta selviää, mitä menettelytapaa on käytetty. Sen mukaan voidaan määrittää ovatko koesuoritukset olleet tarpeeksi kattavia. (Lepola & Ylikangas 2016, 240)

### 3.3 Hitsausohjeiden laatiminen valitulle liitostyypille

Laatiessa hitsausohjetta S420 teräkselle tai sitä lujemmille teräksille tulee kuvan 4 kulkukaaviota seurata kulkemalla hyväksyminen menetelmäkoella ruudukon kautta ja edetä siitä alaspäin aina hyväksymiseen tuotantoon asti. (SSAB Europe Oy 2014, 9)

### 3.4 Valittujen liitostyyppien menetelmäkoe

Kuten aiemminkin mainittu, erikoislujien terästen menetelmäkokeet suoritetaan standardin SFS-EN ISO 15614 mukaisesti. Tuotantoa edustavalla liitosmuodolla tehdään tarvittaessa joko yksi tai useampia standardi-koekappaleita. Tuotannon tai liitoksen geometrian vaatimuksien erotessa tämän standardin mukaisista koekappaleista, käytetään standardia EN ISO 15613. (SFS-EN ISO 15614-1/2008, 10.)

#### 3.4.1 Koekappaleiden muoto ja mitat

Kaikkien koekappaleiden pituuden ja lukumäärän on oltava riittäviä, jotta vaaditut testit voidaan suorittaa hyväksyttävästi.

Koekappaleiden aineenpaksuus,  $t$ , on muuten aina sama, mutta putken haaraliitoksissa ja pienahitseissä aineenpaksuus voi erota.

Koekappaleiden paksuudet ja/tai putken ulkohalkaisija valitaan standardin kohtien 8.3.2.1 ... 8.3.2.3 mukaisesti.

Koekappaleiden esivalmistelu ja hitsaus tulee suorittaa alustavan hitsausohjeen (pWPS) mukaan tuotantohitsausta vastaavissa olosuhteissa. Koekappaleen hitsausasentojen sekä kaltevuus- ja kiertymiskulmien toleranssien tulee olla standardin EN ISO 6947 mukaiset. Mikäli tuotantokappaleiden hitsauksissa siltahitsi sulatetaan lopulliseen hitsiin, tulee niiden olla myös koekappaleessa.

Koekappaleiden hitsaaminen ja testaaminen tulee tapahtua valvojan valvonnassa. (SFS-EN ISO 15614-1/2008, 10.)

## 4 TYYPILLISTEN HITS AUSLIITOSTEN KARTOITUS

Tutkimus suoritettiin kyselytutkimuksena Webropolia käyttäen. Seuraavissa luvuissa käyn tarkemmin läpi kyselyn suorittamista.

### 4.1 Kyselyn toteutus.

Kysely toteutettiin Webropol kyselynä (liite 1). Kysely toimitettiin sähköpostilla aluksi lähialueen yrityksiin, joilla oli hitsaus toimintaa. Pelkistä lähialueen yrityksistä ei kuitenkaan saanut tarpeeksi vastauksia, joten päädyimme laajentamaan aluetta ja lopulta kysely lähetettiin noin 80:een eri yritykseen. Kyselyn sulkemisen jälkeen vastauksia oli 10:stä eri yrityksestä, joista suurin osa vastasi kaikkiin kysymyksiin.

#### 4.1.1 Kysymyksien valinta

Kysely aloitettiin kysymällä, oliko yritys tietoinen korkealujuusteräksen hitsauksen erityisvaatimuksista. Kysymys valittiin, koska monet eivät ole välttämättä ikinä edes kuulleet korkealujuusteräksen hitsaamisesta, tai sen erityisvaatimuksista.

Seuraavaksi kysyttiin, onko yritykselle tarjottu hitsattavaksi tuotteita, jotka valmistetaan korkealujuusteräksestä ja, jos on, niin millaisia. Nämäkin kysymykset on valittu, jotta saataisiin enemmän tietoa yritysten kokemuk- sista korkealujuusteräksien kanssa.

Kyselyä jatkettiin tiedustelemalla yrityksiä ongelmista hitsatessa. Kysymys valittiin, koska se kertoo tarvitsevatko yritykset apua korkealujuusteräksien hitsauksen kanssa ja millaista apua he mahdollisesti voisivat tarvita.

Yrityksiltä tiedusteltiin seuraavaksi ovatko he hoitaneet itse korkealujuusteräksen hitsausohjeen luomiseen liittyvät asiat, millaisena he kokivat uuden hitsausohjeen luomisen ja olisivatko he kiinnostuneita palvelusta, joka auttaisi tai tekisi uuden hitsausohjeen valmiiksi. Nämä kysymykset valittiin tarkentaaksemme aiempaa kysymystä korkealujuusteräksen ongelmien liittyen, sekä selvittääkseni voisiko yrityksille myydä valmiita korkealujuusteräksen hitsausohjeita tai auttaa heitä luomaan niitä?

Lopuksi kyselyssä keskityttiin yrityksiä nykyisiin hitsausmenetelmiin, hitsattaviin tuotteisiin, materiaaleihin ja liitoksiin. Nämä kysymykset valittiin,

koska oli tärkeää selvittää millaisia hitsauksia yritykset tällä hetkellä tekevät, jotta saisin selville minkälaisille korkealujuusteräksen hitsausohjeille olisi mahdollisesti tarvetta.

#### 4.1.2 Tiedon hankinta

Kyselyä ja opinnäytetyötä varten tietoa on hankittu SSAB:n ja Koulutuskeskus Tavastian antamista .pdf tiedostoista, tutkinut HAMKin Riihimäen kampuksen kirjaston kirjoja ja opinnäytetöitä kirjaston lisäksi myös theseuksen kautta.

Hitsausta tarjoavien yritysten etsinnässä käytettiin pääasiassa erilaisia Internetistä löytyviä hakupalveluja. Lisäksi oltiin yhteydessä muutamaa ennalta tuttuun yritykseen, joiden tiedettiin tarjoavan jonkinlaisia hitsauspalveluja.

## 5 TUTKIMUKSEN TULOKSET

Seuraavissa kappaleissa käyn läpi tutkimuksen tuloksia ja teen niistä johtopäätöksiä.

### 5.1 Valitut liitostyypit

Kyselyn perusteella ehdotettu Ohutlevykeskukselle jatkotoimia seuraaville liitostyypeille:

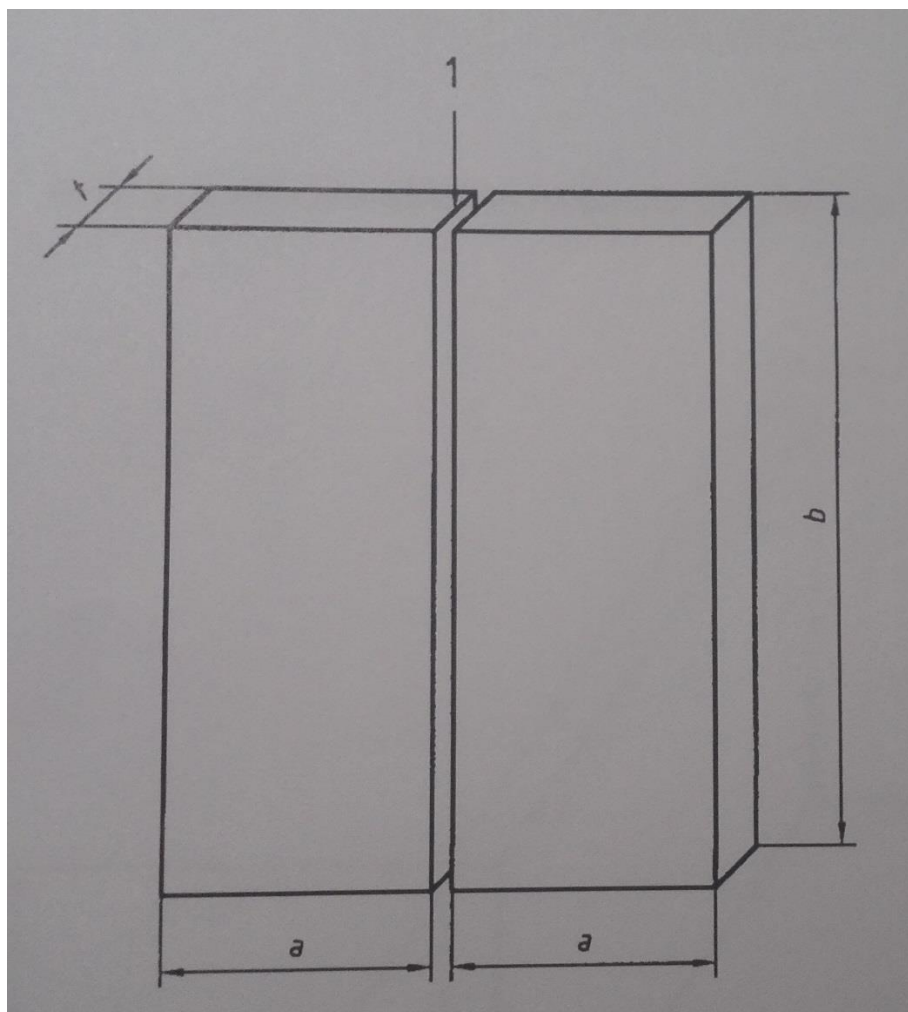
1. jalkoasennossa hitsattava päittäisliitos, T-liitos ja nurkkaliitos
2. ala-asennossa hitsattava T-liitos ja nurkkaliitos
3. pystyasennossa hitsattava päittäisliitos
4. vaaka-asennossa hitsattava T-liitos

Tuloksien tutkimisen jälkeen päädytty ehdottamaan edellä mainittuja liitostyyppejä, koska selvä enemmistö vastanneista yrityksistä käytti nykyisissä hitsattavissa tuotteissaan kohtien 1. ja 2. liitoksia. Kohtien 3. ja 4. liitoksia käytti noin puolet tutkimukseen vastanneista yrityksistä ja ehdotin

näitä lisäksi, mikäli liitoksia tulisi olla enemmän. Otannan kuitenkin jäädessä näinkin pieneksi, kannattaisi ehkä edetä ensin hieman varoen ja käyttää vain kohtien 1. ja 2. liitoksia jatkotoimenpiteissä. Olisin toivonut tutkimukseen huomattavasti enemmän vastauksia, jotta tuloksia olisi saatu tarkemmaksi, mutta saatujen tulosten perusteella nämä ovat ne liitokset, joita tulisi tarkastella enemmän. Suurimmat syyt vähäisiin vastauksiin ovat todennäköisesti siinä, että yritykset eivät joko ole vielä hitsanneet korkealujuusteräksiä tai, että yritykset eivät halua jakaa hankkimiaan tietojaan eteenpäin.

### 5.1.1 Valittujen liitosten koekappaleiden valmistus

Standardin SFS-EN ISO 15614-1/2008 mukaan.



Kuva 5. Levyn läpihitsattu päättäisliitos. (SFS-EN ISO 15614-1/2008, 12)



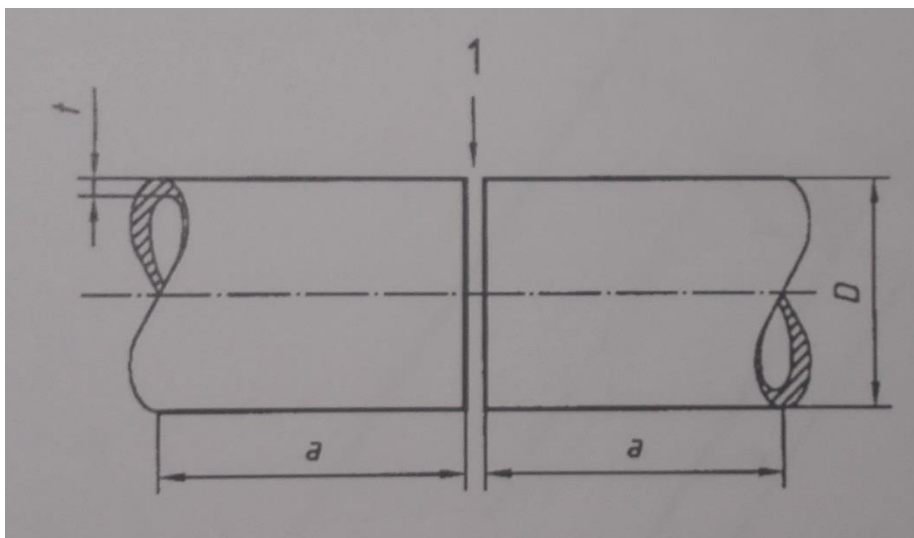
Levyn läpihitsattu päittäisliitos (kuva 5.) selite.

1 Railon valmistus ja sovitus alustavan hitsausohjeen mukaan

a Vähintään 150 mm

b Vähintään 350 mm

t Aineenpaksuus



Kuva 6. Putken läpihitsattu päittäisliitos. (SFS-EN ISO 15614-1/2008, 14)

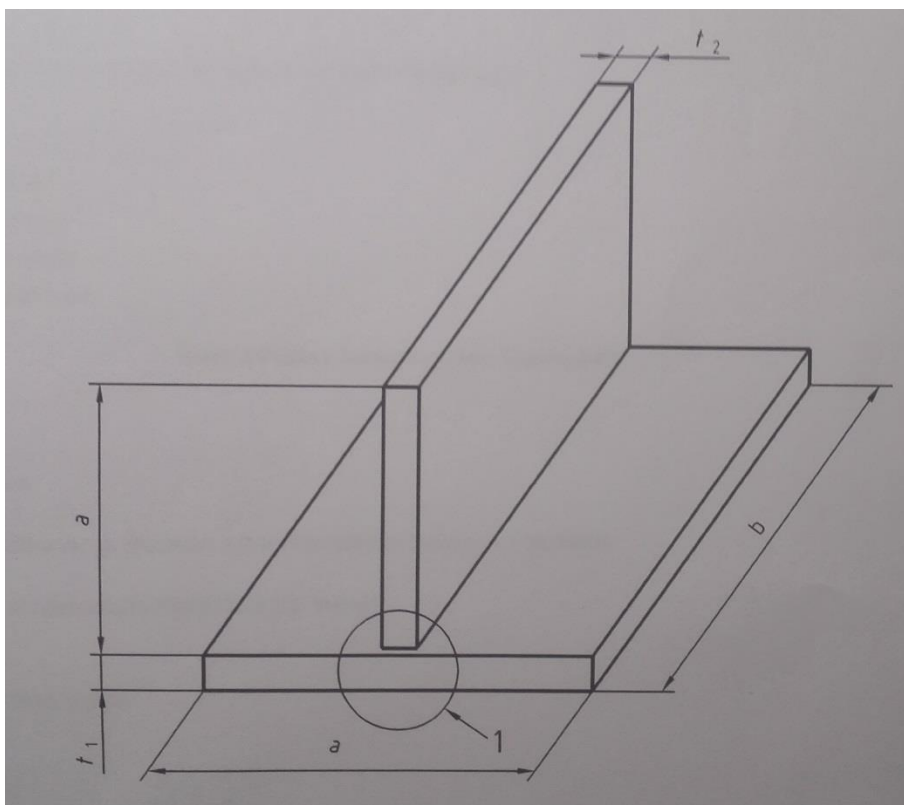
Putken läpihitsattu päittäisliitos (kuva 6) selite.

1 Railon valmistus ja sovitus alustavan hitsausohjeen mukaan

a Vähintään 150 mm

D Putken ulkohalkaisija

t Aineenpaksuus



Kuva 7. T-liitos. (SFS-EN ISO 15614-1/2008, 14)

T-liitos (kuva 7.) selite.

- 1 Railon valmistus ja sovitus alustavan hitsausohjeen mukaan
- a Vähintään 150 mm
- b Vähintään 350 mm
- t Aineenpaksuus

### 5.1.2 Valittujen liitosten koekappaleiden testaus

Testaus käsittää rikkomattoman ja rikkovan aineenkoetuksen kuvan 8 taulukon mukaan.

Tuotestandardit voivat vaatia lisätestauksia, kuten:

- pitkittäinen vetokoe
- puhtaan hitsiaineen taivutuskoe
- korroosiokokeet
- kemiallinen analyysi
- mikrohietutkimus
- deltaferriittipitoisuuden määrittäminen
- ristiliitoksen vetokoe

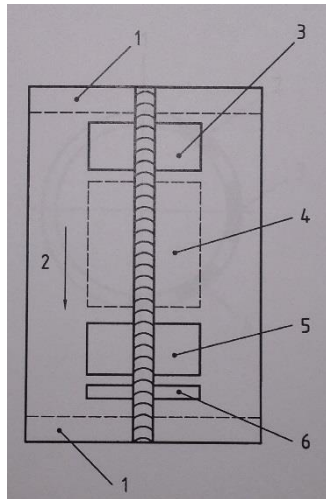
Koekappale	Testaus	Testauksen laajuus	Ala huomautus
Läpihitsattu päittäisliitos – Kuva 1 ja Kuva 2	Silmämääräinen tarkastus	100 %	–
	Radiografia tai ultraäänitarkastus	100 %	a
	Pintahalkeamien tarkastus	100 %	b
	Poikittainen vetokoe	2 koesauvaa	–
	Poikittainen taivutuskoe	4 koesauvaa	c
	Iskukoe	2 sarjaa	d
	Kovuuskoe	vaadittu	e
	Makrohietutkimus	1 hie	–
Läpihitsattu T- liitos – Kuva 3	Silmämääräinen tarkastus	100 %	f
	Pintahalkeamatarkastus	100 %	b ja f
Läpihitsattu putken haaraliitos – Kuva 4	Ultraäänitarkastus tai radiografia	100 %	a, f ja g
	Kovuuskoe	vaadittu	e ja f
	Makrohietutkimus	2 hiettä	f
Pienahitsit – Kuva 3 ja Kuva 4	Silmämääräinen tarkastus	100 %	f
	Pintahalkeamatarkastus	100 %	b ja f
	Kovuuskoe	vaadittu	e ja f
	Makrohietutkimus	2 hiettä	f

<sup>a</sup> Ultraäänitarkastusta ei suoriteta, kun  $t < 8$  mm eikä perusaineryhmille 8, 10, 41...48.  
<sup>b</sup> Tunkeumanestetarkastus tai magneettijauhetaikastus. Epämagneettisille materiaaleille, tunkeumanestetarkastus.  
<sup>c</sup> Taivutuskokeet, ks. 7.4.3.  
<sup>d</sup> 1 sarja hitsiaineesta ja 1 sarja muutosvyöhykkeiltä, kun aineenpaksuus  $\geq 12$  mm ja iskukokeen vaatimukset määritetty. Tuotestandardissa saatetaan vaatia iskukokeita myös, kun aineenpaksuus on alle 12 mm. Testauslämpötilan valitsee valmistaja, ottaen huomioon sovellutuksen tai tuotestandardin, mutta sen ei tarvitse olla alempi kuin materiaalispesifikaatioissa. Lisätetit ks. 7.4.5.  
<sup>e</sup> Ei vaadita perusaineille: -alaryhmä 1.1, ja ryhmät 8, 41...48.  
<sup>f</sup> Määritetyt testit eivät anna tietoa hitsausliitoksen mekaanisista ominaisuuksista. Kun tällaiset ominaisuudet ovat oleellisia sovellutuksen kannalta, tehdään lisäkokeita, esim. päittäishitsiteille.  
<sup>g</sup> Ultraäänitarkastusta ei vaadita, kun putken ulkohalkaisija  $\leq 50$  mm.  
Jos ulkohalkaisija on yli 50 mm eikä ultraäänitarkastusta ole mahdollista toteuttaa teknisesti, suoritetaan radiografinen kuvaus edellyttäen, että liitosmuoto antaa järkevän tuloksen.

Kuva 8. Koekappaleiden testaus. (SFS-EN ISO 15614-1/2008, 18)

Rikkomaton aineenkoetus suoritetaan koekappaleille ennen koesauvojen irrottamista. Koekappaleen rikkomaton aineenkoetus suoritetaan liitosmuodolle, materiaalille ja tuotteelle asetettujen vaatimusten perusteella, taulukon 1 mukaan standardien EN 970, EN 1435, EN 1714, EN 571-1 ja EN 1290 mukaisesti.

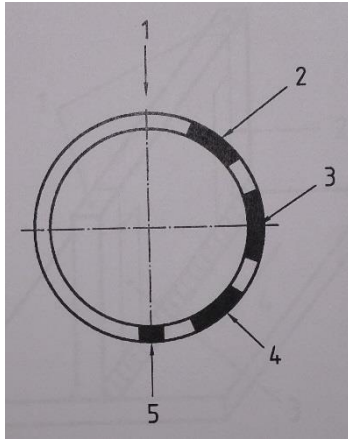
Koesauvat tulee irrottaa kuvien 8, 9 ja 10 mukaisesti. Sauvat irrotetaan, kun kappale on täyttänyt kaikki hyväksymiskriteerit rikkomattomien aineenkoetus (NDT) kokeiden osalta. Koesauvat tulee irrottaa alueelta, joka on täysin rikkomattoman aineenkoetuksen NDT-menetelmien hyväksymisrajojen sisällä.



Kuva 9. Koesauvojen sijainti päittäishitsauksen koekappaleessa. (SFS-EN ISO 15614-1/2008, 20)

Selite koesauvojen sijaintiin päittäishitsauksen koekappaleessa (kuva 9):

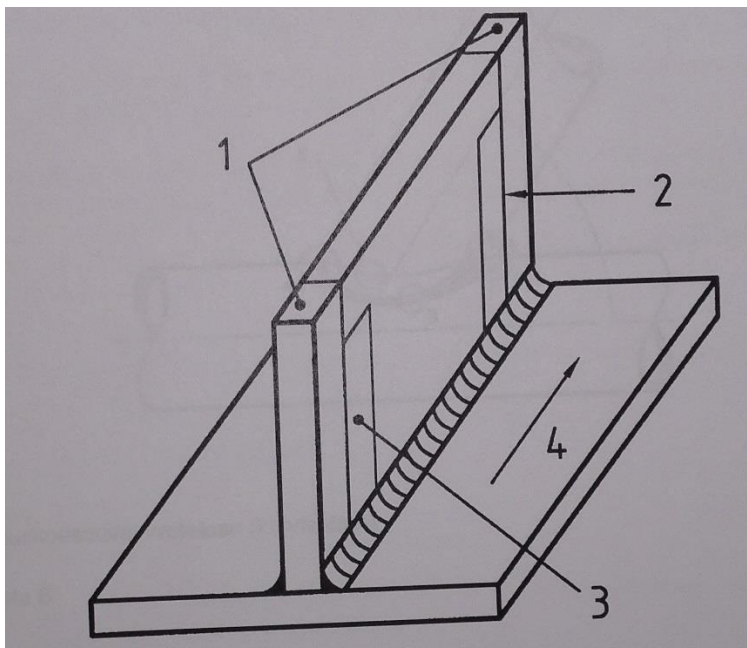
- 1 Poistetaan 25 mm
- 2 Hitsaussuunta
- 3 Alue, josta irrotetaan:
  - 1 vetokoesauva
  - taivutuskoesauvat
- 4 Alue, josta irrotetaan:
  - isku- ja lisäkoesauvat (jos vaaditaan)
- 5 Alue, josta irrotetaan:
  - 1 vetokoesauva
  - taivutuskoesauva
- 6 Alue, josta irrotetaan:
  - 1 makrohie
  - 1 kovuuskoesauva



Kuva 10. Koesauvojen sijainti päittäishitsauksen putkikoekappaleessa. (SFS-EN ISO 15614-1/2008, 22)

Selite koesauvojen sijaintiin päittäishitsauksen putkikoekappaleessa (kuva 10)

- 1 Kiinteän putken yläpinta
- 2 Alue, josta irrotetaan:
  - 1 vetokoesauva
  - taivutuskoesauvat
- 3 Alue, josta irrotetaan:
  - isku- ja lisäkoesauvat (jos vaaditaan)
- 4 Alue, josta irrotetaan:
  - 1 vetokoesauva
  - taivutuskoekieket
- 5 Alue, josta irrotetaan:
  - 1 makrohie
  - 1 kovuuskoesauva



Kuva 11. Koesauvojen sijainti T-liitoksessa. (SFS-EN ISO 15614-1/2008, 24)

Selite koesauvojen sijaintiin T-liitoksessa (kuva 11)

- 1 Poistetaan 25 mm
- 2 Makrohie
- 3 Makrohie ja kovuuskoesauva
- 4 Hitsaussuunta

## 5.2 Johtopäätökset tutkimuksesta

Tutkimus lähetettiin noin 80:lle eri yritykselle, joista 10 otti osaa tutkimukseen. Osanottajien lukumäärä oli suuri pettymys ja todellisuudessa tulokset voisivat olla erilaiset, jos vastaajia olisi ollut edes tuplasti enemmän ja huomattavasti erilaiset, jos vaikkapa 50 yritystä olisivat vastanneet.

Otannan ollessa pieni, tulee tutkimus tuloksiin suhtautua hieman varoen, mutta noin puolet yrityksistä ovat tietoisia korkealujuusteräksen hitsaamisen erityisvaatimuksista ja noin puolille vastanneista yrityksistä on myös tarjottu jonkinlaisia hitsattavia tuotteita, jotka valmistetaan korkealujuusteräksestä.

Lähes kaikki yritykset, jotka ovat tehneet korkealujuusteräksen hitsauksia ovat tehneet niitä melko vähän. Korkealujuusteräksiä hitsanneilla yrityksillä noin puolella on ollut ongelmia hitsatessa. Ongelmia on ollut erilaisia, mutta mainittakoon esimerkkinä menetelmäkokeista koituvat ylimääräiset kustannukset, joka on ollut ainakin yhdelle yritykselle ongelma.

Valtaosa yrityksistä, jotka ovat tehneet korkealujuusteräksen hitsauksia ovat hoitaneet itse kaikki tarvittavat toimenpiteet hitsausohjeisiin liittyen. Selvää jakaumaa yritysten välillä ei näy kokevatko he hitsausohjeiden luomisen helppona vai hankalana, mutta vain kaksi yritystä kahdeksasta olisi kiinnostunut palvelusta, joka auttaisi heitä luomaan uutta hitsausohjetta.

## LÄHTEET

Koivisto K., Laitinen E., Niinimäki M., Tiainen T., Tiilikka P., Tuomikoski J. (2006). *Konetekniikan materiaalioppi*. Helsinki: Edita Prima Oy

Lindroos, Sulonen, Veistinen (1986). *Uudistettu Miekk-ojan Metallioppi*. Helsinki: Kustannusosakeyhtiö Otava

Lepola P. & Ylikangas R. (2016). *Hitsaustekniikka ja teräsrakenteet*. Helsinki: Sanoma Pro Oy

Metalliteollisuuden Keskusliitto (2001). *Muokatut teräkset*. Helsinki: Metalliteollisuuden Kustannus Oy

Sorsa J. (2015). *Materiaalitekniikka*. Helsinki: Sanoma Pro Oy

SSAB Europe Oy (2014). Hitsausohjeet lujille rakenneputkille

SFS-EN ISO 15614-1 (2008). Hitsausohjeet ja niiden hyväksyntä metalleille. Hyväksyntä menetelmäkokeella. OSA 1: Terästen kaari- ja kaasuhitsaus sekä nikkelin ja nikkelseosten kaarihitsaus. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto SFS ry.

Blerand, G. (2016). *Effect of heat input on the mechanical properties of high strength steel butt-welded joints* Opinnäytetyö. Construction engineering. Hämeen ammattikorkeakoulu.

Havula, J. (2017). RE: Päivitystä yhteenvedosta ja kysymyksiä. Sähköposti-viesti tekijälle 7.5.2017



Webropol kysely

LIITE 1

Hitsausohje pohja

LIITE 2

## Alustava versio. Korkealujuusteräksen hitsaus.

Korkealujuusteräkkeksi tässä kyselyssä otetaan huomioon kaikki teräkset jotka ovat lujempia kuin S420.

1. Tiedätkö mitä erityisvaatimuksia korkealujuusteräksen hitsaamisessa on?

Kyllä.

Ei.

2. Onko teille tarjottu hitsattavaksi tuotteita, jotka valmistetaan korkealujuusteräksestä?

Kyllä.

Ei.

3. Millaisia korkealujuusteräksestä suunniteltuja tuotteita teille on tarjottu hitsattavaksi?

4. Kuinka paljon korkealujuusteräksen hitsauksia olette tehneet?

5. Onko teillä ollut ongelmia korkealujuusteräksiä hitsatessa?

Kyllä, millaisia?

Ei.

6. Oletteko itse hoitaneet kaiken tarvittan korkealujuusteräksen hitsausohjeeseen liittyen?

Erilaiset testit ja tarkastukset hitsin kestävytyteen liittyen.

Kyllä.

Ei.

7. Millaisena koette uuden hitsausohjeen luomisen korkealujuusteräkselle?

Helppo.

Hankala.

En osaa sanoa.

8. Olisitteko kiinnostuneita palvelusta, joka auttaisi uuden hitsausohjeen luomisessa?

Kyllä.

Ei.

9. Mitä hitsausmenetelmiä pääasiassa käytätte?

Voit valita useamman vaihtoehdon.

MIG/MAG

TIG

Puikko

Kaasu

Muu, mikä?

10. Millaisia normaalilujuusteräksen hitsauksia teette?

11. Millaisia normaalilujuusteräksiä käytätte?

Esimerkiksi S235 tai S275.

12. Millaisia liitoksia teette normaalilujuusteräksille?

	Päittäisliitos	T-liitos	Päällekkäisliitos	Nurkkaliitos
Jalkoasento	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ala-asento	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Yläasento	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Pystyasento	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Vaaka-asento	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Lakiasento	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

# WPS

WPS no

Date

Rev. 1

Language

WPQR no:	Method of preparation and cleaning:	Welding position:

Throat thickness (mm)	Distance contact tube/workpiece (mm)

Manufacturer:	Preheat Temperature (°C)	Mode of metal transfer
HAMK Ohutlevykeskus		

Joint type and weld type:	Interpass Temperature (°C)	Weld details:

## Identification of parent material

	Parent material	Group EN ISO 15608	Standard	Range of thickness (mm)	Range of outside diameter (mm)
A	esim. S520 Reh<520N/mm2				
B	esim. S520 Reh<520N/mm2				

## Weld preparation details

Joint design:	Welding sequences:

Welding parameters

Run	Welding process	Size of filler material d (mm)	Current I (A)	Voltage U (V)	Type of current/ polarity DC-/DC+	Wire feed speed (m/min)	Travel speed v (mm/min)	Heat input Q (kJ/mm)

Identification of filler materials

Standard	Designation	Filler material handling

Identification of shielding gas

Standard	Group	Shielding gas flow rate

Other information: