

Tuomas Laakko

## **FOSFATOIDUN TERÄSLANGAN VASTUSHITSAUS**

# **FOSFATOIDUN TERÄSLANGAN VASTUSHITSAUS**

Tuomas Laakko  
Opinnäytetyö  
Kevät 2016  
Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma  
Oulun ammattikorkeakoulu

# TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu  
Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma, tuotantotekniikka

---

Tekijä: Tuomas Laakko  
Opinnäytetyön nimi: Fosfatoitun teräslangan vastushitsaus  
Työn ohjaajat: Ville Kauppinen ja Esa Törmälä  
Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: kevät 2016 Sivumäärä: 35 + 3 liitettä

---

Opinnäytetyön toimeksiantajana on Nestor Cables Oy. Yritys kehittää, valmistaa ja myy erilaisia tietoliikenne- ja teollisuuskaapeleita. Toimeksianto syntyi yrityksen halusta minimoida teräslangan ylijäämä tuotannossa.

Tutkimuskohteena on fosfatoitu teräslanka, joka on vahvikkeena yrityksen valmistamassa tietoliikennekaapelissa. Työn tavoitteena oli löytää teräslangan liittämiseen liitosmenetelmä, joka täyttää lopputuotteelle annetut vaatimukset. Optiona oli kehittää testauslaite, jolla varmistetaan liitoksen kestävyys.

Työssä käydään läpi teräslangan valmistuksessa kylmävalssaamalla aiheutuneet ominaisuudet kovuus ja sitkeys ja se, miten hitsaus muuttaa niitä. Työssä selvitetään, miten karkaisun aiheuttama martensiittinen rakenne saadaan päästökäsittelyllä muutettua lujaksi ja sitkeäksi. Käytettyjä tutkimusmenetelmiä olivat vetokoe, kovuusmittaus, mikrorakennetutkimus ja taivutuskoe. Työn hallinnassa käytettiin apuna etappijaotusta, jossa etukäteen suunniteltiin, mitä tehdään milloinkin.

Toimivaksi liitosmenetelmäksi löytyi vastushitsaus, jolla opinnäytetyön toimeksiantossa annetut taivuteltavuuden, vetolujuuden ja mittatarkkuuden vaatimukset pystyttiin läpäisemään. Ratkaisuna oli oikeanlainen hehkutus, jolla saatiin riittävä vetolujuuden ja taivuteltavuuden yhdistelmä. Liitoksen testaukseen ideoitii veto- ja taivutustestit, joita yritys voi jatkojalostaa tarpeidensa mukaan. Yrityksen pohdittavaksi jää myös liittämiseen paremmin soveltuvan uuden vastushitsauslaitteen hankkiminen.

---

Asiasanat: kylmävalssaus, vastushitsaus, teräksen lämpökäsittely

## **ALKULAUSE**

Opinnäytetyö on tehty Nestor Cables Oy:n toimeksiannosta. Työn ohjaajina toimivat lehtori Esa Törmälä Oulun ammattikorkeakoulusta ja suunnitteluinsinööri Ville Kauppinen Nestor Cables Oy:stä. Haluan kiittää heitä ensiluokkaisesta ohjauksesta työn aikana. Erityisesti Törmälän asiantuntemus hitsaustekniikasta oli tärkeä tekijä työn onnistumisen kannalta.

Kiitokset kuuluvat myös kaikille muille henkilöille, jotka ovat auttaneet työn edistymisessä.

Oulussa 10.5.2016

Tuomas Laakko

# SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ	3
ALKULAUSE	4
SISÄLLYS	5
1 JOHDANTO	7
2 TYÖN TAUSTA	8
2.1 Nestor Cables Oy	8
2.2 Valokuitukaapeli	8
2.3 Teräslanka	9
2.4 Teräslangan vaatimukset	9
3 TERÄKSEN LÄMPÖKÄSITTELY	11
3.1 Metallien rakenne	11
3.2 Teräksen määrittely	11
3.3 Tasapainopiirros	11
3.4 Teräksen lämpökäsittelyn tarkoitus	13
3.5 Karkaisu	13
3.6 Päästö	14
4 TERÄSLANGAN VALMISTUS	15
4.1 Kylmämuokkaus	15
4.2 Teräslangan veto	15
5 TERÄSLANGAN OMINAISUUDET	16
5.1 Karkenevuus	16
5.2 Päästäminen	17
5.3 Kovuus	18
5.4 Mikrorakenne	19
6 VASTUSHITSAUSPROSESSIN KEHITTÄMINEN	21
6.1 Hitsauslaite	21
6.2 Vastushitsaus	24
6.3 Hitsausarvojen optimointi	24
6.4 Liitoksen tarkastelu	25
6.4.1 Mikrorakenne	25
6.4.2 Kovuus	27

6.4.3 Mittatarkkuus	29
6.4.4 Taivuteltavuus	30
6.5 Ohuempi 1,2 mm teräslanka	30
6.6 Muut mahdolliset liitostavat	31
6.7 Liitoksen testaus	31
7 TYÖN HALLINTA	32
7.1 Etappijaotus	32
7.2 Raportointi	32
7.3 Etappikatselmukset	32
8 YHTEENVETO	33
LÄHTEET	35
LIITTEET	
Liite 1 Tutkimussuunnitelma	
Liite 2 Yliopiston vetokoe toimitustilaiselle teräslangalle	
Liite 3 Yliopiston vetokoe hitsatulle teräslankaliitokselle	

# 1 JOHDANTO

Työssä tutkitaan fosfatoitun teräslangan ominaisuuksia ja selvitetään liitosmenetelmä, joka täyttää teräslangalle annetut vaatimukset. Tutkimuksen kohteena oleva teräslanka on vahvikkeena yrityksen valmistamassa valokuitukaapelissa. Mikäli liitosmenetelmä löytyy, saadaan teräslangan ylijäämä minimoitua tuotannossa.

Tutkimustyö on tehty Oulun ammattikorkeakoulun konetekniikan laboratoriossa ja Nestor Cables Oy:n tiloissa. Ennen tätä työtä yrityksellä on ollut käytössä vastushitsauslaite, jolla liitos on tehty. Kyseisen liitoksen vetolujuus ei riitä lopputuotteen vaatimuksiin, mutta liitos on ollut prosessin helpottamiseksi silti käytössä.

Työssä tutkitaan vastushitsausta ja hitsauksen aiheuttamia vaikutuksia 1,57 mm paksuun teräslankaan. Yritys käyttää myös 1,2 mm paksua teräslankaa, mutta tutkimukset tehdään opinnäytetyössä ensin vain 1,57 mm:n langalle. Toimivaa liitosmenetelmää on tarkoitus hyödyntää myöhemmin myös ohuemmalle teräslangalle. Tavoitteena on saada työn kohteena olevalle teräslangalle mahdollisimman suuri vetolujuus ja riittävä sitkeys. Työssä selvitetään parhaat mahdolliset hitsausparametrit nykyiselle hitsauslaitteelle ja tutkitaan, voidaanko lämpökäsittelyllä saada teräslankaan halutut ominaisuudet.

## **2 TYÖN TAUSTA**

### **2.1 Nestor Cables Oy**

Nestor Cables Oy on keskittynyt optisten ja kuparijohtimisten tietoliikenne- ja teollisuuskaapeleiden sekä valokaapelitarvikkeiden valmistamiseen, kehittämiseen ja myyntiin. Valikoimaan kuuluvat myös raja- ja kulunvalvontaan käytetyt optiset erikois- ja kenttäkaapelit. Yritys toimittaa tarvittavat asennustarvikkeet NesCon-tuotemerkin alla. Nestor Cables on tietotekniikan ja tietoliikenteen keskusliiton, FiCom ry:n sekä eurooppalaisen johtavien kaapelivalmistajien yhdistyksen Europacablen jäsen. Nestor Cables Oy:n Oulun tehdas on kokoluokassaan yksi Euroopan moderneimmista tuotantolaitoksista. (1, linkki Yritys.)

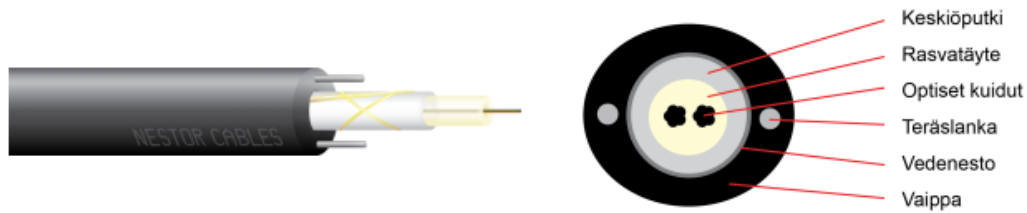
Oulussa sijaitseva tuotantolaitos on aloittanut toimintansa vuonna 2008. Henkilöstöä yrityksellä on noin 80, joista pääosa työskentelee Oulussa. Ulkomaan myynti- ja markkinointitoiminnot sijaitsevat Vantaalla. Edustajia yrityksellä on Balkanilla, Ruotsissa, Norjassa, Algeriassa, USA:ssa sekä Lähi-idässä. (1, linkki Yritys.)

Yrityksen asiakkaita ovat urakoitsijat, tukkurit, teleoperaattorit, puolustusvoimat sekä teollisuuden ja julkishallinnon edustajat. Tuotteet kehitetään yhteistyössä asiakkaiden kanssa ja ratkaisuihin otetaan huomioon eri asiakkaiden tarpeet. (1, linkki Yritys.)

### **2.2 Valokuitukaapeli**

Yrityksen valmistamassa valokuitukaapelissa on useita eri komponentteja, kuten kuvasta 1 nähdään. Yksi komponentti on tässä työssä käsitelty fosfatoitu teräslanka. Teräslanka toimii valokuitukaapelissa vahvikkeena ja vedonpoistajana, eli se suojaa valokuituja, joissa kulkee varsinainen tietoliikenne. Tästä syystä teräslangalle on määritetty vaatimukset, jotka langan tulee kestää.





KUVA 1. Valokuitukaapelin rakenne (1, linkit Valokaapeli -> maakaapelit -> FYO2PMU)

### 2.3 Teräslanka

Tällä hetkellä yritys käyttää teräslangan liittämiseen tyssähitsaamalla Ideal-merkkistä vastushitsauslaitetta. Tällä menetelmällä valmistettu liitos ei ole kuitenkaan täyttänyt lopputuotteen vetolujuudelle asetettuja vaatimuksia. Vetolujuus jää 50 %:iin liittämättömään lankaan verrattuna, kun sen tulisi olla vähintään 80 % lopputuotteessa.

Liitos tehdään, kun teräslankakelasta on jäljellä niin vähän, ettei se riitä enää seuraavan tuotteen valmistukseen. Vanhaan teräslankakelaan liitetään uusi kela, joka saadaan näin vedettyä valokaapelin valmistuslinjaan. Kun uusi kela on saatu vedettyä kriittisen vaiheen läpi, lanka katkaistaan ja voidaan aloittaa uusi työ uudesta kelasta. Vanha kela, jossa on teräslankaa jäljellä vähintään 6 km, siirretään sivuun odottamaan sopivaa työtä, johon kelassa vielä jäljellä oleva teräslanka riittäisi. Yritys pyrkii hyödyntämään kaiken käytettävissä olevan materiaalin kelasta, mutta mikäli jäljellä olevasta materiaalista ei pystytä valmistamaan uusia tuotteita, laitetaan loppukela kierrätykseen.

### 2.4 Teräslangan vaatimukset

Teräslankaliitoksen tulee täyttää vaatimukset, jotka on esitetty liitteessä 1. Liitoksen vetolujuuden tulee olla vähintään 80 % ehjän langan vetolujuudesta  $1\ 960 \geq N/mm^2$ . Liitoksen halkaisijan tulee olla  $\pm 0,03$  mm ehjän langan halkaisijasta. Halkaisijaltaan 1,20 mm paksun langan tulee kestää 60 mm taivutussä-

teen taivutuksen ja 1,57 mm:n lanka vastaavasti 115 mm taivutussäteen taivutuksen asennettuna. Työssä tutkitaan ensin pelkästään vahvempaa 1,57 mm:n paksuista lankaa ja sen liittämistä. Kun löydetään sopiva liitosmenetelmä, skaalataan se myös 1,2 mm:n langalle.

## **3 TERÄKSEN LÄMPÖKÄSITTELY**

### **3.1 Metallien rakenne**

Metalli, kuten kaikki muutkin materiaalit, koostuvat atomeista. Jokaisella alkuaineella on yksilöllinen atomirakenne. Alkuaineet voidaan erottaa toisistaan rakenteensa perusteella. Atomit muodostavat sidoksia toisiinsa neljällä sidostyyppillä, joita ovat ionisidos, kovalenttinen sidos, van der Waalsin sidos ja metallisidos. Tässä työssä käsitelty metallisidos on suuntautumaton, sillä siinä atomit jakavat uloimman atomikehänsä vapaat elektronit keskenään, jolloin atomeille syntyy yhteinen elektronipilvi. Vapaat elektronit pystyvät liikkumaan materiaalin sisällä tehden materiaaleista sitkeitä sekä hyviä sähkön- ja lämmönjohteita. (2, s. 10.)

Kiinteään olotilaan muuttuessaan atomit pinoutuvat jokaiselle alkuaineelle ominaisella tavalla. Atomit ovat sijoittuneena tietyn etäisyyden päässä toisistaan. Näin syntyy järjestäytynyt kiteinen rakenne. Kiteinen rakenne koostuu useista erisuuntaisista kiteistä, jotka erottuvat toisistaan raerajoilla. Kun metalliseokseen lisätään yhtä tai useampaa alkuainetta, jotka muodostavat yhdisteitä perusaineen kanssa tai keskenään, saadaan eri kidelajeista eli faaseista koostuva rakenne. (2, s. 10–11.)

### **3.2 Teräksen määrittely**

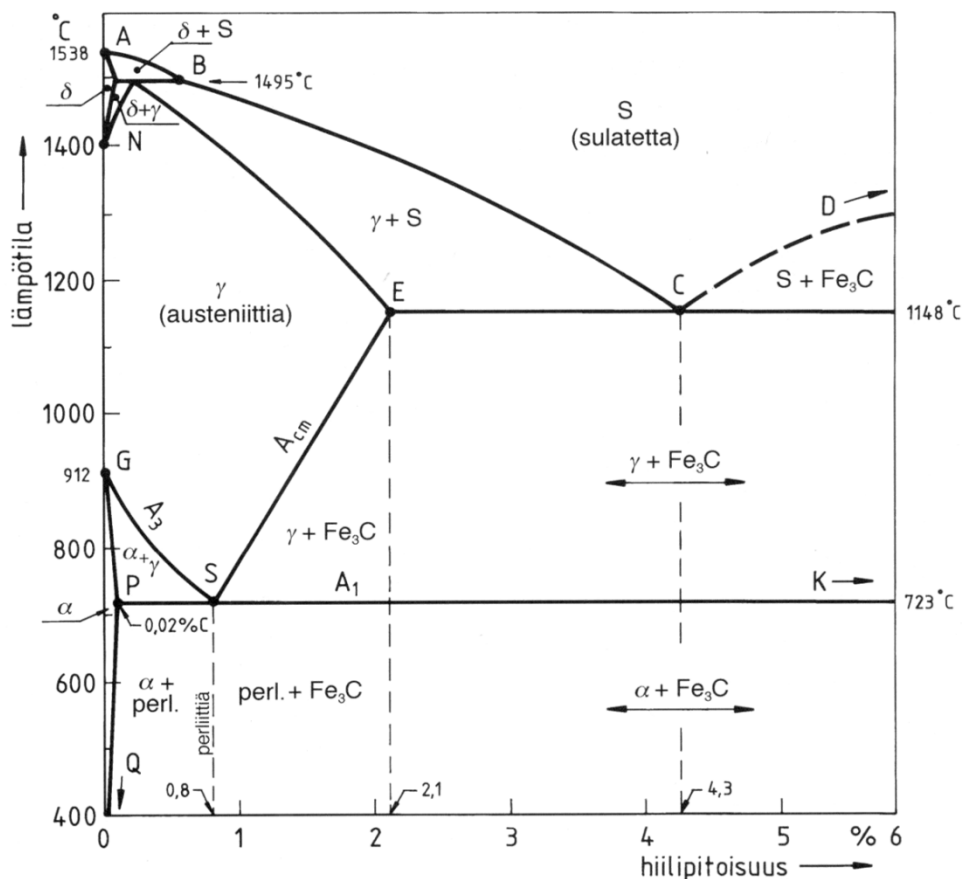
Kun raudassa on hiiltä seosaineena alle 2,0 %, käytetään siitä nimitystä teräs. Teräs koostuu pääosin raudasta, mutta siinä on myös seosaineita, joiden määrä ja koostumus vaikuttavat teräksen ominaisuuksiin. Ominaisuuksiin vaikuttavat myös ulkoiset tekijät, joista tärkein on lämpötila. Seosten rakenteiden ja ominaisuuksien kuvaamiseen ja ennustamiseen on kehitetty ns. tasapainopiirros. (2, s. 12–15.)

### **3.3 Tasapainopiirros**

Tasapainopiirroksessa on kuvattu metallin faasitasapainot seosainepitoisuudesta ja lämpötilasta riippuvaisina. Tasapainopiirroksessa tulisi olla esitettynä kaikki metalliseoksessa mukana olevat alkuaineet ollakseen sellaisenaan täysin

kertova, sillä jo pienetkin pitoisuudet saavat aikaan huomattavia muutoksia metallin ominaisuuksissa. Tällaisen piirroksen esittäminen olisi kuitenkin hankalaa ja todennäköisesti vain sekoittaisi asian käsittelyä. Tavallisesti esitetään vain kahden tärkeimmän osatekijän välinen tasapainopiirros ja muut seosaineet käsitellään aine kerrallaan. Raudan ja hiilen välinen tasapainopiirros on kaiken perustana tarkasteltaessa teräksiä. (2, s. 12–15.)

Kuvan 2 rauta-hiilitasapainopiirroksista nähdään, että kyseisessä systeemissä esiintyy neljä faasia: austeniitti ( $\gamma$ ), ferriitti ( $\alpha$ ), sementiitti ( $\text{Fe}_3\text{C}$ ) ja deltaferriitti ( $\delta$ ) (2, s. 14). Piirroksista käy ilmi faasimuutokset lämpötilan ja hiilipitoisuuden suhteen. Esimerkiksi 0,8 %:n hiilipitoisuuden omaavalla teräksellä austeniitin muodostuminen alkaa lämpötilassa 723 °C.



KUVA 2. Rauta-hiilitasapainopiirros (3, s. 10)

### 3.4 Teräksen lämpökäsittelyn tarkoitus

Teräksen lämpökäsittelyllä pyritään muokkaamaan teräksen kiderakennetta paremmin käyttötarkoitustaan vastaavaksi. Ajan saatossa on eri käsittelyillä saatujen havaintojen perusteella kehitetty erilaisia lämpökäsittelymenetelmiä, joita esitellään seuraavissa kappaleissa lisää. (4, linkki 3.1 Austeniitin muodostuminen.)

Lämpökäsittelyt perustuvat austeniitin muodostumiseen ja hajautumiseen lämpötilaa muutettaessa. Tämän vuoksi austeniitin muodostumis- sekä hajautumismekanismien ymmärtämisellä on suuri merkitys lämpökäsittelyjen suorituksen hallitsemiselle ja niiden vaikutusten ymmärtämiselle. (2, s. 25.)

Austeniitin muodostuminen on lämpöopillisesti mahdollista aina silloin, kun teräksen lämpötila ylittää tasapainopiirroksen (kuva 1) merkityn  $A_1$ -lämpötilan  $727\text{ °C}$  (4, linkki 3.1 Austeniitin muodostuminen). Austeniitin muodostuminen on aluksi hyvin nopeaa. Esimerkiksi yli 0,77 %:n hiilipitoisuuden omaavan teräksen rakenne muuttuu  $760\text{ °C}$ :n lämpötilassa 99,5-prosenttiseksi austeniitiksi kymmenessä sekunnissa. Loppujen karbidisulkeumien liukeneminen saattaa kestää kuitenkin vielä tunteja. (2, s. 25.) Tässä työssä tutkimuskohteena oleva teräslanka on rakenteeltaan juuri edellisessä kuvatus kaltaista.

### 3.5 Karkaisu

Teräksen karkaisemisella pyritään saamaan teräksestä kovempi ja lujempi. Samalla kuitenkin menetetään sitkeyttä. Karkaisulla pyritään martensiittiseen rakenteeseen. Teräs kuumennetaan ensin austeniittialueelle ja pidetään siellä niin kauan, että saadaan teräksen rakenne täysin austeniittiseksi. Itse karkaisu tapahtuu siten, että heti austenoitumisen jälkeen jäähdytetään kappale niin nopeasti, ettei sementiittiä ja ferriittiä ehdi muodostua. (5, s. 80.) Kuvasta 2 nähdään kiderakenteen muutokset lämpötilan ja hiilipitoisuuden suhteen.

Jäähdytys tapahtuu yleensä joko veteen, öljyyn tai ilmaan, teräksen seostuksen mukaan. Seostamattomia tai niukkahiilisiä teräksiä karkaistaessa käytetään vettä riittävän jäähtymisnopeuden varmistamiseksi. Öljyyn karkaistaessa aiheutuu teräkselle lievempi jäähdytys ja erityisesti martensiittivaiheessa kappaleen

särkymisvaara pienenee. Öljyä käytetään monesti runsasseosteisiin teräksiin. Ilmassa jäädyttäminen on vielä öljyäkin hitaampi jäähdystapa, ja siinä on vaarana bainiitin ja perliitin muodostuminen martensiitin sijasta. (5, s. 80–81.)

Tässä työssä karkeneminen tapahtuu hitsausprosessin aikana. Ilmiö on ei-toivottu, koska karennut liitoskohta ei kestä taivutusta lainkaan. Teräksen karkenemista ei voida estää hitsausprosessin aikana, mutta jälkeinpäin on mahdollista saada päästökäsittelyllä teräkselle halutut ominaisuudet.

### **3.6 Päästö**

Karkaisu kasvattaa teräksen kovuutta, mutta laskee sitkeyttä. Lisäksi kappaleeseen syntyy sisäisiä jännityksiä, koska kappaleen pinta jäähtyy nopeammin kuin sisus. Jännityksiä kappaleeseen aiheuttaa myös tilavuuden kasvaminen martensiittireaktion aikana. Edellä mainituiden syiden vuoksi onkin syytä tehdä kappaleelle karkaisun jälkeen päästökäsittely, jolla palautetaan teräksen sitkeys sekä haluttu kovuus ja lujuus. (5, s. 83.)

Päästöissä teräs ensin lämmitetään haluttuun lämpötilaan välille 150–650 °C, minkä jälkeen se jäähdytetään hitaasti takaisin huoneenlämpöön. Korkealla päästölämpötilalla saadaan kappaleelle suuri sitkeys, kun taas matala lämpötila lisää kappaleen lujuutta. (5, s. 83.)

## **4 TERÄSLANGAN VALMISTUS**

### **4.1 Kylmämuokkaus**

Nimestäkin voi päätellä, että kylmämuokkaus tehdään matalassa lämpötilassa uudelleenkiteytymislämpötilan eli rekristallisaatiolämpötilan alapuolella. Kylmämuokkaus on yleensä kuumamuokkaamalla valmistetun tuotteen jatkokäsittelyä. Kylmämuokkaamalla saadaan kasvatettua teräksen lujuutta ja sitkeyttä, mutta vastaavasti sitkeys ja muovautumiskyky pienenevät. Kylmämuokkaamalla valmistetun tuotteen pinta on sileä ja mittatarkkuus on parempi kuin kuumamuokatuilla tuotteilla. (6, s. 81.)

### **4.2 Teräslangan veto**

Yli 5 mm halkaisijaltaan olevat langat valmistetaan kuumavalssaamalla, ohuemat kylmävedolla. Kylmävetämällä voidaan valmistaa jopa 0,01 mm halkaisijaltaan olevaa lankaa. Kylmäveto tehdään lanka-aihiolle, joka on valmistettu kuumavalssaamalla. Kylmävetämällä aine lujittuu ja muokkautuu. Valmistuksen jälkeen kylmävedetyn teräslangan ominaisuuksia voi muokata erilaisilla lämpökäsittelyillä. Esimerkiksi pehmeäksihehkutuksella voidaan parantaa kylmämuovattavuutta ja lastuttavuutta. (6, s. 85.)

Tämän työn kohteena oleva fosfatoitu teräslanka on valmistettu kylmävetämällä. Teräslanka on erittäin lujaa ja kovaa, ja sen mittatarkkuus on hyvä. Teräslangan pinta on kirkas, ja se on fosfatoitu ruostumisen estämiseksi.

## 5 TERÄSLANGAN OMINAISUUDET

### 5.1 Karkenevuus

Tutkimus aloitettiin selvittämällä mahdollisuudet teräslangan lämpökäsittelylle. Oleellisinta oli ensin selvittää teräslangan karkenevuus. Tämän jälkeen tuli tutkia, onko päästömenetelmällä mahdollista saada vaadittu taivuteltavuus teräslankaan. Nestor Cables Oy antoi tutkimukseen yhden 1,57 mm teräslankakelan, josta on otettu kaikki opinnäytetyössä tutkitut langat. Kelasta katkaistiin 15 cm pitkiä koepaloja tutkimuksia varten. Teoriatiedon pohjalta laadittiin suunnitelma, miten teräslangan lämpökäsittelyominaisuudet selvitetään.

Teoriatiedon pohjalta arvioitiin, että tutkittavan teräksen austenointilämpötila olisi noin 780 °C. Tätä silmällä pitäen tehtiin lämpökäsittelyt teräslangalle ja tulokset nähdään taulukosta 1. Lämpökäsittelyt suoritettiin Oulun ammattikorkeakoulun konelaboratoriossa kahdessa erilaisessa karkaisu-uunissa. Lämpökäsittelykokeilla selvitettiin teräslangan metallurgiset ominaisuudet ja muokattavuus.

*TAULUKKO 1. Lämpökäsittelykokeen tulokset*

Nro	Lämpötila °C	Aika s	Jäähdytys	Päästö °C	Aika s	Rakenne	Kommentit
5	780	120	paineilma			sitkeä	ei martensoitunut
11	780	120	vesi 30 °C			hauras	martensoitunut
13	780	120	öljy			hauras	martensoitunut
1	700	120	vesi 30 °C			sitkeä	ei martensoitunut
2	730	120	vesi 30 °C			hauras	martensoitunut
3	750	120	vesi 30 °C			hauras	martensoitunut
32	780	120	vesi 30 °C	450	180	sitkeä	martensoitunut, päästämällä sitkeys
42	780	120	vesi 30 °C	350	180	sitkeä	martensoitunut, päästämällä sitkeys
46	750	120	vesi 30 °C	350	180	sitkeä	martensoitunut, päästämällä sitkeys
47	750	120	vesi 30 °C	400	180	sitkeä	martensoitunut, päästämällä sitkeys
51	750	120	vesi 30 °C	500	180	sitkeä	martensoitunut, päästämällä sitkeys

Kokeet tehtiin aina viiden langan erissä. Langoille valmistettiin yksinkertainen pidike, johon koelangat sai helposti kiinni ja siirrot uuniin ja sieltä pois sujuivat helpommin. Kokeessa langoille tehtiin ensin uunissa lämpökäsittely. Uunista langat jäähdytettiin välittömästi joko veteen, öljyyn tai huoneenlämpöön. Päästökäsittelyt tehtiin toisessa uunissa, johon oli säädetty alhaisempi lämpötila.



Päästössä lankaerä asetettiin jäähdytysvaiheen jälkeen uuniin ja määritetyn ajan jälkeen otettiin sieltä pois. Päästön jälkeen jäähdytys tapahtui huoneenlämmössä.

Jäähdytysvaiheen jälkeen kaikista langoista kokeiltiin karkaisun onnistuminen. Tämä tapahtui taivuttamalla lankaa. Mikäli lanka meni poikki kevyesti taivuttamalla, voitiin todeta austenoinnin onnistuneen ja karkaisun tapahtuneen. Mikäli lanka taipui kuten toimitustilainen lanka, karkaisu ei ollut riittävä.

Ensimmäisillä uunilämmityksillä pyrittiin löytämään oikea austenointilämpötila. Taulukosta 1 voidaan todeta, että karkaisun aiheuttama martensoituminen on tapahtunut 730–780 °C:n lämpötilassa. 700 °C:n lämpötilassa teräksen rakenne on ollut sitkeä, eli karkenemista ei ole tapahtunut. Voidaan myös todeta, että karkeneminen on tapahtunut vedessä ja öljyssä, mutta ei paineilmalla. Veden todettiin soveltuvan paremmin, joten se valittiin jatkotesteihin jäähdytykseksi.

## **5.2 Päästäminen**

Seuraavaksi selvitettiin oikea päästölämpötila. Päästön onnistuminen todettiin taivuttamalla lankaa päästökäsittelyn jälkeen. Mikäli lanka kesti taivutusta, päästö oli onnistunut. Ennen päästöuunia lanka ei siis kestänyt taivutusta lainkaan karkaisulla aiheutetun martensiittisen rakenteensa takia, mutta päästön jälkeen taivutuksen tulisi onnistua. Havaittiin, että päästö onnistui 350–500 °C:n lämpötilassa.

Kun päästökäsittely oli saatu tehtyä, olivat vuorossa vetokokeet. Vetokokeella varmistettiin, että teräslangan vetolujuus säilyy karkaisu- ja päästökäsittelyn jälkeenkin. Vetokokeiden tulokset nähdään taulukossa 2. Vetokokeet suoritettiin Testometric-merkkisellä vetokoneella Nestor Cables Oy:n tiloissa. Yritys käyttää kyseistä laitetta tuotteidensa laadunvalvonnassa. Vetokokeella testattiin, että liitosten vetolujuus on vaatimusten mukainen.

## TAULUKKO 2. Lämpökäsittelyt ja vetolujuudet

Nro	Lämpötila °C	Aika s	Päästö °C	Aika s	vetolujuus N/mm <sup>2</sup>	% vaaditusta vetolujuudesta
32	780	120	450	180	1621	82,7
42	780	120	350	180	1486	75,8
46	750	120	350	180	1511	77,1
47	750	120	400	180	1879	95,9
51	750	120	500	180	1483	75,7

Vetokokeen tulosten perusteella voitiin todeta, että kaikki 350–500 °C päästökäsittelyt langat olivat hyvin lähellä vaadittua 80 %:a, mutta paras tulos tuli 400 °C:n päästöllä. Lämpökäsittelytutkimuksessa selvisi, että sitkeä ja luja teräslanka on mahdollista saavuttaa karkaisemalla lanka ensin martensiittiseksi ja sen jälkeen päästämällä se. Tämä kertoo sen, että teräslangan ominaisuuksia pystytään muuttamaan lämpökäsittelyllä. Karkaisun vaikutuksella pyrittiin mallintamaan hitsauksen vaikutus lankaan. Uunissa tehty päästökäsittely puolestaan vastaa hitsauslaitteen hehkutustoimintoa.

### 5.3 Kovuus

Kovuusmittarina oli Oulun ammattikorkeakoulun konelaboratorion Zwick Roell Indentec. Kovuusmittauksilla voidaan todentaa erilaisten käsittelyiden vaikutus teräslankaan. Käytettävä mittari antoi tulokset Vickers-arvoilla. Vickersin kovuusmittaus perustuu siihen, että tutkittavaan kappaleeseen painetaan neliskanttinen jälki määritellyllä voimalla. Kun jäljen koko mitataan, voidaan määrittellä kappaleen kovuus. Kovuusmittauksia varten täytyy valmistaa tutkittavasta kappaleesta näytenappi. Näytenappien valmistukseen käytettiin kahta eri menetelmää, kuumavalua ja epoksiliimausta. Kuvassa 3 nähdään molemmilla edellä mainituilla tavoilla valmistetut näytenapit. Samoista napeista tarkasteltiin myös kappaleen mikrorakennetta.



*KUVA 3. Vasemmalla kuumavalettu ja oikealla epoksiliimattu näytenappi*

Nappien valamisen jälkeen täytyi tutkittava teräslanka hioa esille. Hiominen suoritettiin portaittain hiomapaperikarkeuksilla 120, 220, 320, 500, 800, 1000 ja lopuksi 1200. Hiomiseen jälkeen napeille tehtiin vielä kiillotus ensin 9  $\mu\text{m}$  ja 3  $\mu\text{m}$  timanttikankailla.

Teoriatiedon pohjalta tiedetään, että kun teräskappale lämmitetään austenointilämpötilan yläpuolelle, sen kovuus alkaa kasvamaan (5, s. 80). Tässä työssä esimerkiksi hitsauksen vaikutusalue on kovempi kuin hitsausvyöhykkeen ulkopuolinen alue.

Aluksi suoritettiin kovuusmittaukset vain ehjälle toimitustilaiselle teräslangalle. Toimitustilaisen langan kovuutta voidaan verrata myöhemmin eri käsittelyillä aiheutettuihin muutoksiin. Toimitustilaisen teräslangan kovuuden keskiarvo oli 546,8 HV2.

#### **5.4 Mikrorakenne**

Kappaleiden mikrorakennetta tarkasteltiin Oulun ammattikorkeakoulun konelaboratoriossa. Mikrorakenne on saatu esille syövyttämällä tutkittavan kappaleen

pinta napista 4-prosenttisen Nital-hapon avulla. Sopiva syövytyskäsittely tuo kappaleen mikrorakenteen esille, ja sitä voidaan tarkastella mikroskoopin avulla. Kuvasta 4 nähdään toimitustilaisen teräslangan vaakasuuntainen pitkänmallinen mikrorakenne. Pitkänmallinen kiderakenne on syntynyt kylmämuokkauksella teräslangan valmistusvaiheessa. Se aiheuttaa teräslangalle suuren kovuuden, lujuuden ja sitkeyden yhdistelmän.



*KUVA 4. 10-kertainen suurennos toimitustilaisen teräslangan mikrorakenteesta*

## 6 VASTUSHITSAUSPROSESSIN KEHITTÄMINEN

Työn alussa päätettiin ensin selvittää nykyisen liitosmenetelmän mahdollisuudet. Mikäli menetelmää ei voida kehittää paremmaksi ja vaatimusten mukaiseksi, alettaisiin etsiä muita menetelmiä.

### 6.1 Hitsauslaite

Yrityksellä on käytössään kaksi kuvan 5 mukaista Ideal DSH 025 -vastushitsauslaitetta. Laitteessa on neljä toimintoa: leikkaus, hitsaus, hehkutus ja hionta. Leikkaus tehdään molemmille liitettäville päille ennen hitsausta. Laitteen oikealla sivulla on yksinkertainen leikkuri, johon lanka asetetaan ja vedetään kamrasta poikki. Leikkaus suoristaa langan pään kohtuullisen suoraksi, ja näin hitsausvirta kulkee tasaisemmin koko langan läpi.



KUVA 5. Ideal DSH 025

Hitsaus tapahtuu asettamalla liitettävien lankojen päät leukoihin tiukasti toisiaan vasten. Liitettävien lankojen pintojen tulee olla puhtaat, jotta hitsauslaitteen leuat saavat hyvän kontaktin lankaan, ja näin ollen virta kulkee liitoksen läpi. Hitsauksessa säädettäviä arvoja ovat hitsausalueen pituus ja hitsausvirran suuruus. Hitsauspituuden säätö tapahtuu portaattomasti säätörullasta pyörittämällä. Hitsausvirralle on 5-portainen säätö.

Hitsauksen jälkeen on vuorossa hehkutus. Hehkutuksella lämpökäsitellään hitsausalue, jolloin liitokselle saadaan haluttu taivuteltavuus. Teräslankaliitos asetetaan erillisten hehkutusleukojen väliin siten, että liitoskohta on leukojen puolella välissä. Kun hehkutuskytkintä painetaan, alkaa virta kulkea teräslangan läpi. Vapautettaessa kytkin virran syöttö lakkaa. Hehkutuksen kesto täytyy itse määrittellä teräslangan väriä tarkkailemalla. Kuva 6 on laitevalmistajan kotisivuilta ja sitä voi käyttää apuna arvioitaessa hehkutusaikaa. Kuvasta näkee suuntaa, miten lämpötila muuttuu värin suhteen, mutta vain kokeilemalla voi saada haluttuja tuloksia.

# ANNEALING COLOURS

## COULEURS DE RECUIT

FARBENBEZEICHNUNG COLOUR LEVELS TYPE DE COULEUR		CELSIUS/FAHRENHEIT
Dunkelbraun brun foncé	dark brown	550°/1022°F.
Braunrot brun rouge	brown red	630°/1166°F.
Dunkelrot rouge foncé	dark red	680°/1256°F.
Dunkelkirschrot rouge cerise foncé	dark cherry red	740°/1364°F.
Kirschrot rouge cerise	cherry red	780°/1436°F.
Hellkirschrot rouge cerise clair	light cherry red	810°/1490°F.
Hellrot rouge clair	light red	850°/1562°F.
Guthellrot bien rouge clair	well light red	900°/1652°F.
Gelbrot jaune rouge	yellow red	950°/1742°F.
Hellgelbrot jaune clair rouge	light yellow red	1000°/1732°F.



*KUVA 6. Hehkutuslämpötilat värin mukaan (7, linkit Service -> Downloads -> Annealing Colours.)*

Lopuksi tulee suorittaa hionta, jossa poistetaan hitsauksessa syntyvä purse. Tämä tapahtuu koveran mallisen pyörivän hiomakiven avulla. Teräslanka asetetaan käsien väliin ja pyöritellään liitoskohta tasaiseksi hiomakivessä. Laitetta käytettäessä on syytä käyttää asianmukaisia suojalaseja sekä -käsineitä.

## 6.2 Vastushitsaus

Vastushitsauksessa johdetaan teräslangan liitoksen kohdalle niin suuri virta, että teräslangan päät tyssäntyvät yhteen kuumuuden ja pintojen välisen puristuksen yhteisvaikutuksesta. Hitsaustapahtumassa teräslanka käy sula-alueella, eli noin 1 500 °C:n lämpötilassa hitsin kohdalta. Tälle kohdalle syntyy heikko martensiittinen rakenne, joka ei kestä taivuttamista eikä vetoa juuri lainkaan. Käytännössä teräslanka napsahtaa poikki liitoksesta hyvin kevyesti sormilla taivuttamalla. Martensiittinen rakenne tulisi saada poistettua lämpökäsittelyllä ja korvata se vetoa ja taivutusta kestäväällä kiderakenteella.

## 6.3 Hitsausarvojen optimointi

Hitsausarvojen optimointi aloitettiin selvittämällä, mitä arvoja on käytetty tähän asti ja miten niihin on päästy. Havaittiin, että aiempi liitostapa oli löydetty kokeilemalla ja vertailemalla eri asetuksia laitteessa. Vertailussa oli tarkasteltu lähinnä liitoksen taivuteltavuutta, mutta myös vetolujuus oli kokeiltu vetokokeella. Liitos kesti taivutusta helposti vaaditun määrän ja ylikin, mutta vetolujuus jäi reilusti alle vaatimuksen.

Seuraavaksi selvitettiin, voitaisiinko vetolujuus saada nousemaan, jos taivuteltavuutta laskettaisiin lyhentämällä hehkutusaikaa. Mitä lyhempi hehkutusaika on, sitä lujempi langasta tulee. Pitkä hehkutusaika lämmittää teräksen punahehkuseksi, jolloin langasta tulee pehmeä ja sitkeä.

Kokeilujen jälkeen löydettiin sopiva hehkutusmenetelmä. Liitos testattiin ensin taivuttamalla liitoskohta vaatimusten mukaisen rullan ympärille. Kun liitos kesti vaaditun taivutuksen, oli vuorossa vetolujuuden testaus vetokoneella. Liitos läpäisi vetokokeen vetolujuuden ollessa n. 85 % vaaditusta 1 960 N/mm<sup>2</sup>:stä. Tämä oli merkittävä askel työn onnistumisessa, sillä ensimmäistä kertaa läpäistiin kaikki teräslankaliitoksen vaatimukset.

Vetokoetuloksen varmistamiseksi suoritettiin vertailevat vetotestit Oulun yliopiston materiaalilaitoksella (liitteet 2 ja 3). Yliopiston vetokoetulokset antoivat liitokselle hieman suuremman vetolujuuden, mikä luultavasti aiheutuu tarkemmasta mittalaitteesta ja paremmista tartuntaleuoista.

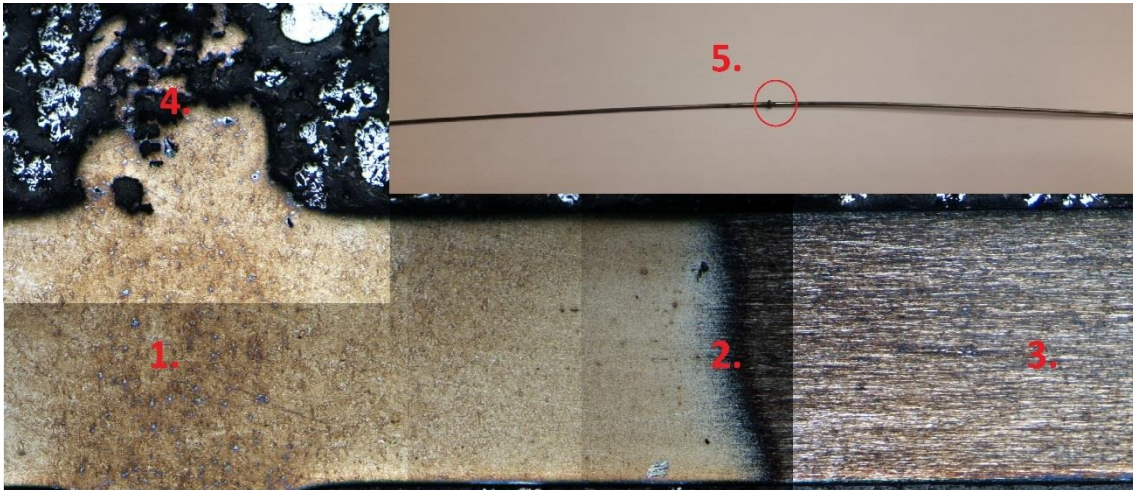


## 6.4 Liitoksen tarkastelu

Koska oikeanlainen hehkutuskäsittely oli työn ratkaisu, on syytä tutkia tarkemmin, mitä teräslangassa tapahtuu liitosprosessin aikana. Uudesta liitoksesta valmistettiin näytenapit tarkoituksena tutkia sen rakennetta ja lujuutta. Nappeja valmistettiin pelkästään hitsatusta liitoksesta sekä hitsatusta ja hehkutetusta liitoksesta. Näiden kahden menetelmän tuloksia vertailemalla pitäisi nähdä, mitä langassa tapahtuu. Tuloksia verrataan toimitustilaiseen teräslankaan ja näin saadaan selville liitosprosessin eri vaiheiden vaikutukset teräslankaan.

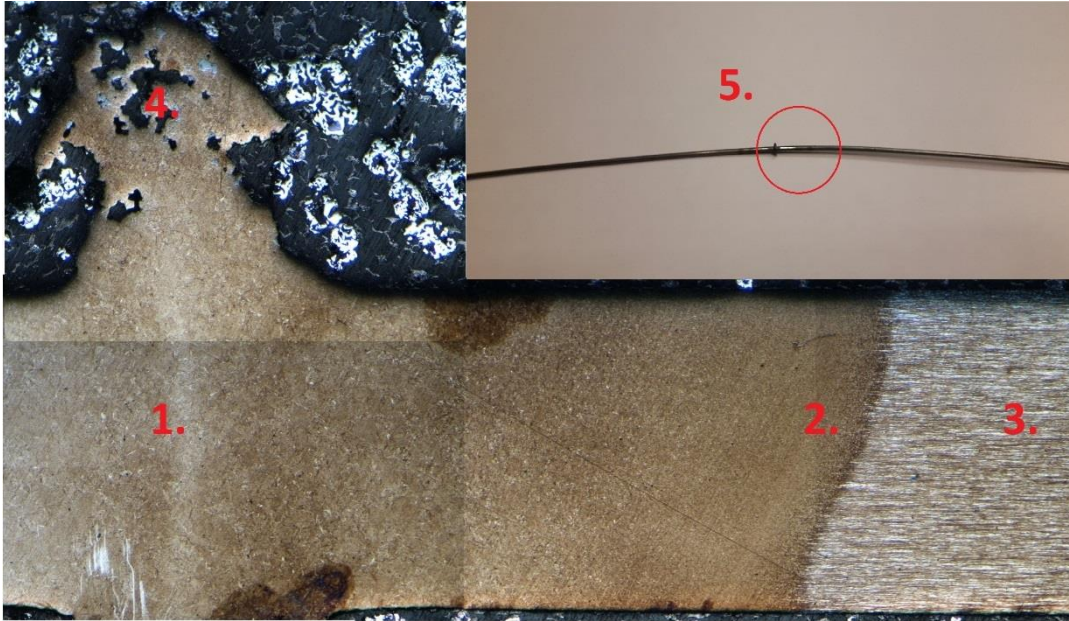
### 6.4.1 Mikrorakenne

Kuvassa 7 nähdään 10-kertainen suurennus hitsausliitoksen mikrorakenteesta. Suurennos on läpileikkaus hitsausliitoksesta pitkittäin läpi liitoksen. Kuvan vasemmassa laidassa on liitoskohta, jossa nähdään tyssäyksessä muodostunutta pursetta kuvan ylälaidassa. Kuvan keskivaiheilla nähdään lämpövyöhykkeen raja, jossa langan rakenne muuttuu selvästi. Rajan vasemmalla puolella nähdään hitsauslämmön vaikutusalue. Kuvasta voidaan nähdä sen suurirakeinen ja säilemainen, martensiittinen rakenne. Kuvan oikeassa laidassa nähdään alue, mihin hitsauslämpö ei ole yltänyt ja missä rakenne on sama kuin toimitustilaisella langalla kuvassa 4 sivulla 20. Kuvasta 7 voidaan myös todeta, että hitsaus on onnistunut ja lankojen päät ovat liittyneet toisiinsa täysin.



*KUVA 7. Hehkuttamattoman liitoksen mikrorakenne suurennettuna: 1: liitoskohta, 2: lämpövyöhykkeen raja, 3: toimitustilainen lanka, 4: pursetta, 5: läpileikkauksen alue.*

Kuvassa 8 on kuvattuna 10-kertainen suurennos hitsatusta ja hehkutetusta liitoksesta. Liitoskohta on jälleen kuvan vasemmassa laidassa. Lämpövyöhykkeen raja nähdään kuvan oikeassa laidassa värierona ja rakenteen vaihtumisena. Hitsauksen lämpövyöhykkeen alue ei ole enää niin suurirakeinen ja sälemainen, vaan se on lähempänä hienorakeista rakennetta. Ero ei ole merkittävä hehkuttamattomaan liitokseen verrattuna, mutta se on silti selvästi havaittava. Myöhemmät kovuusmittaustulokset vahvistavat rakenteessa havaitut muutokset.



*KUVA 8. Hitsatun ja hehkutetun liitoksen mikrorakenne suurennettuna: 1: liitoskohta, 2: lämpövyöhykkeen raja, 3: toimitustilainen lanka, 4: pursetta, 5: läpileikkauksen alue*

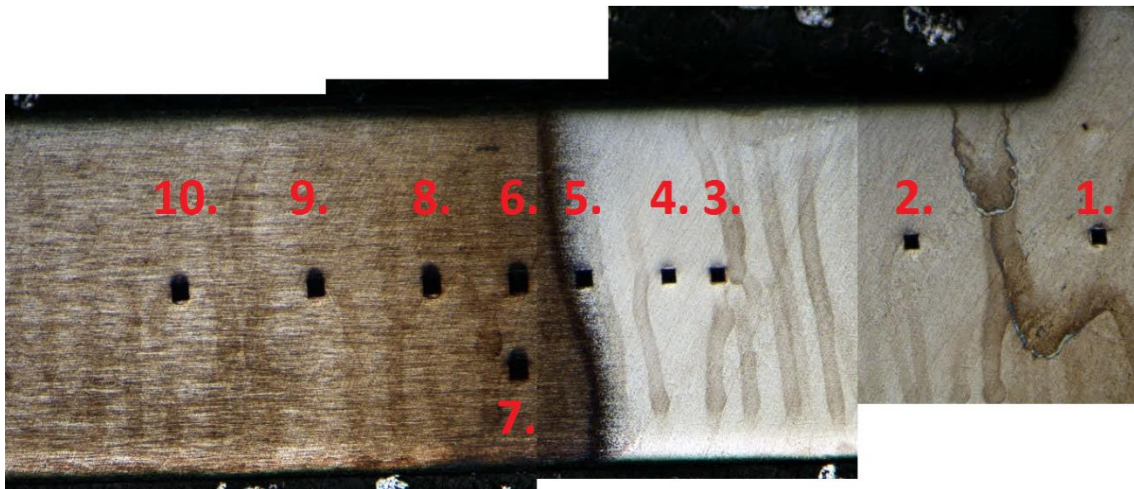
#### **6.4.2 Kovuus**

Kovuusmittaukset aloitettiin liitoksen keskikohdasta, josta alettiin siirtyä eteenpäin lankaa pitkin. Taulukossa 3 on lueteltu hehkuttamattoman hitsatun liitoksen kovuudet alkaen liitoksen keskeltä. Tuloksista havaitaan, että 4. ja 6. mittauksen välillä tapahtuu muutos. Hitsauksen vaikutusalueella kovuus on suuri, enimmäkseen lähes 900 HV2. Kun muistetaan, että toimitustilaisen teräslangan kovuus oli noin 550 HV2, niin ero on suuri.

TAULUKKO 3. Hehkuttamattoman hitsatun liitoksen kovuudet

1	831	HV2
2	859	HV2
3	878	HV2
4	886	HV2
5	624	HV2
6	483	HV2
7	493	HV2
8	531	HV2
9	599	HV2
10	588	HV2

Kuvassa 9 nähdään hehkuttamattoman hitsatun liitoksen kovuusmittauspisteet, joiden arvot ovat taulukossa 3. Kun tarkastellaan pisteiden kokoja, voidaan huomata, että lämpövyöhykkeen rajalla tapahtuu muutos. Hitsauksen vaikutusalueella jälki on huomattavasti pienempi, kuin lämpövyöhykerajan toisella puolella. Hitsauksen vaikutusalueella teräslanka on siis huomattavasti kovempaa, kuin alueen ulkopuolella perusaineessa.



KUVA 9. Hehkuttamaton hitsattu liitos kovuusmittauspisteillä

Taulukossa 4 näkyy kovuusmittauksen tulokset hitsatulle ja hehkutetulle liitokselle. Mittaukset ovat tehty samalle alueelle kuin hehkuttamattoman liitoksen mittaukset. Hehkutetun liitoksen kovuus pysyy samana hitsauksen vaikutusalueella, sekä sen ulkopuolella. Kovuus on melko lähelle sama kuin toimitustilaisella teräslangallakin. Voidaan päätellä, että hehkutuksella on saatu muutettua

hitsauksen aiheuttama kova alue takaisin sitkeäksi ja lujaksi. Edellisessä kappaleessa esitellyt kuvat liitoksen rakenteesta tukevat tätä havaintoa.

*TAULUKKO 4. Hitsatun ja hehkutetun liitoksen kovuudet*

1	544	HV2
2	552	HV2
3	556	HV2
4	542	HV2
5	537	HV2
6	533	HV2
7	552	HV2
8	509	HV2
9	531	HV2

Kuvasta 10 nähdään taulukon 4 kovuusmittauspisteet. Jäljet ovat lähes samankokoisia, ja näin jäljen koko ja kovuusmittaustulos tukevat toisiaan.



*KUVA 10. Hitsattu ja hehkutettu liitos kovuusmittausjäljillä*

#### **6.4.3 Mittatarkkuus**

Liitetyn teräslangan mittatarkkuus riippuu siitä, kuinka tarkasti purseen hionnan suorittaa. Työssä mitatut liitokset läpäisivät helposti langalle annetun vaatimuksen  $\pm 0,03$  mm.

#### **6.4.4 Taivuteltavuus**

1,57 mm teräslangalle annetun vaatimuksen mukaisesti langan tulee kestää taivutus 115 mm rullan ympärille. Liitokset testattiin 100 mm rullan ympärille taivuttamalla. Jonkin verran liitoksia meni poikki testissä, mikä johtui hehkutuksen epäonnistumisesta. Hehkutuksen toistettavuus on huono nykyisellä laitteella, koska hehkutuksen onnistuminen riippuu liitoksen tekijän havainnointikyvystä ja reaktioajasta. Mikäli nykyistä hitsauslaitetta käytetään liittämiseen, täytyy liitokset testata, ennen kuin liitettyä kaapelia käytetään.

#### **6.5 Ohuempi 1,2 mm teräslanka**

Työssä oli siis löydetty vaatimukset täyttävä liitosmenetelmä vahvemmalle 1,57 mm:n teräslangalle. Seuraavaksi aloitettiin tutkimukset ohuemmalle 1,2 mm:n teräslangalle. Tehtiin koehitsaus- ja hehkutuskäsittelyt 1,2 mm:n langalle skaalatuilla arvoilla. Liitokset testattiin heti liittämisen jälkeen taivuttamalla liitokset vaatimusten mukaisen rullan ympärille. Näin saatiin todettua riittävä taivutuksen kestävyys. Lopuksi hitsatuille liitoksille tehtiin vetotestit, joilla todettiin liitosten vetolujuudet. Tulokset olivat hyvät ja kaikilla liitoksilla oli vaatimusten mukainen vetolujuus. Tulokset näkyvät taulukossa 5.

TAULUKKO 5. Hitsatun ja hehkutetun 1,2 mm terälankaliitoksen vetolujuus

Näyte	1,2mm liitokset				
Materiaali	1,2mm teräslanka				
Pvm.	25.2.2016				
Vetokokeen nro	21				
<b>TYÖNKUVAUS:</b> Vetopituus 100mm, vetonopeus 50mm/min					
4 kpl referenssiä					
<b>Referenssi</b>		<b>Liitos</b>			
<b>Mittausro</b>	<b>N/mm<sup>2</sup></b>	<b>Mittausnro</b>	<b>% referenssistä</b>	<b>% vaaditusta</b>	<b>N/mm<sup>2</sup></b>
1	2229	1	86,8	86,8	1702
2	2217	2	87,0	87,0	1706
3	2168	3	86,4	86,4	1694
4	2161	4	93,8	93,8	1838
<b>ka.</b>	<b>2193,75</b>		<b>88,5</b>	<b>88,5</b>	<b>1735</b>
toimitust. langan vaatimus		1960	N/mm <sup>2</sup>		

## 6.6 Muut mahdolliset liitostavat

Muita liittämismenetelmiä ei tässä työssä tarkemmin tutkittu, koska ratkaisu löytyi jo valmiiksi yrityksen käytössä olevasta vastushitsauslaitteesta. Työn aikana ja varsinkin alkuvaiheessa mietinnässä oli useita erilaisia liitostapoja, joilla liitos olisi ehkä mahdollista toteuttaa. Mahdollisia menetelmiä olisivat laserhitsaus, mekaaninen liitos, kitkahitsaus, kovajuotos, kaarijuotos, alilujat liitokset, hf-hitsaus tai joidenkin edellisten yhdistelmät.

## 6.7 Liitoksen testaus

Liitoksen vetolujuuden testaukseen voisi soveltua hyvin jokin yksinkertainen vetotesti, jolla varmistettaisiin liitoksen riittävä vetolujuus. Liitoskohta asetettaisiin vetolaitteeseen, joka testaisi liitoksen vaaditulla voimalla. Taivutuksen testauksessa voisi olla rullasto, jonka läpi lanka kiertäisi liitoksen jälkeen. Rullia olisi hyvä olla vähintään 2 ja ne tulisi olla sijoitettuna siten, että liitokselle kohdistuisi vaatimusten mukainen taivutus.

Vetolujuus ja taivuteltavuus ovat ne kriittisimmät vaatimukset, mitä teräslangan tulee kestää ja sen takia ne olisi hyvä testata. Mittatarkkuuden varmistamisen voisi tehdä sopivan reikätulkin avulla, josta lankaliitos kulkisi läpi purseen poiston jälkeen.

## **7 TYÖN HALLINTA**

### **7.1 Etappijaotus**

Tässä työssä käytettiin kuusivaiheista etappijaotusta projektin hallinnassa. Jaotuksessa suunniteltiin etukäteen, mitä pitää olla valmiina milloinkin ja mitä tehdään seuraavaksi. Etappisuunnitelma kirjattiin tutkimussuunnitelmaan ja sitä tarkennettiin jatkuvasti työn edetessä. Suosittelen ehdottomasti vastaavaa projektinhallintamenetelmää kaikkiin vastaaviin kehitysprojekteihin.

Lähtökohtaisesti ensimmäinen E0-etappi on niin sanottu kick off -palaveri, jossa projekti aloitetaan. Yleensä seuraavassa E1-etapissa on tutkimus- tai projektisuunnitelman hyväksyminen. Lisäksi E1-etapissa voi olla jokin ensimmäinen työkin, mutta suunnitelma olisi hyvä saada ensin hyväksytyksi. Etapit E2 - E4 ovat yleensä varsinaista työn tekemistä, ja niiden sisältöä on vaikea yleistää. Periaate on koko ajan sama, eli edellinen etappi tulee saada valmiiksi ennen seuraavaan siirtymistä. Viimeisessä E5-etapissa yleensä päätetään työ ja hyväksytään tulokset.

### **7.2 Raportointi**

Työssä raportointiin viikoittain työn ohjaajille kuluneen viikon tulokset, seuraavalle viikolle suunnitellut työt, polttavat asiat sekä havaitut riskit. Ohjaajien oli näin helppo seurata työn etenemistä, ja he pystyivät puuttumaan työhön, mikäli ongelmia syntyi.

### **7.3 Etappikatselmukset**

Tämän työn aikana järjestettiin neljä varsinaista etappikatselmusta, joista kaksi hoidettiin puhelinneuvottelulla. Katselmuksissa työn tekijä ja työn ohjaajat koontuivat saman pöydän ääreen tarkastelemaan työn tuloksia ja pohtimaan jatkoa. Etappikatselmukset olisi yleensä hyvä pitää jokaisen etapin jälkeen, jotta työ pysyisi hyvin koossa ja työ etenisi suunnitelman mukaisesti eteenpäin.



## 8 YHTEENVETO

Tämän työn tavoitteena oli löytää liitosmenetelmä, joka läpäisee teräslangalle asetetut vaatimukset vetolujuuden, taivuteltavuuden ja mittatarkkuuden osalta. Optiona oli kehittää testauslaite, jolla varmistetaan liitoksen kestävyys. Työssä onnistuttiin ja löydettiin menetelmä, jolla liitos saatiin tehtyä vaatimusten mukaisesti. Yritys ottaa menetelmän käyttöön erillisellä puolauslinjalla, jossa lyhyet kelat liitetään toisiinsa, jolloin saadaan täysikokoisia keloja. Työn optiona ollutta testauslaitetta ei toteutettu, mutta siihen luotiin suunnitelmia.

Työn ratkaisuksi löytyi liitoksen oikeanlainen hehkutuskäsittely. Yrityksen nykyisellä hitsauslaitteella hehkutuskäsittelyn toistettavuus on heikohko. Parhaimmillaan testauspäivänä onnistui saada kymmeniä onnistuneita liitoksia peräjälkeen, mutta kun käyttäjä herpaantuu, saattavat liitokset napsahdella poikki hehkutuksen epäonnistuttua. Suosittelenkin yritykselle paremman hitsauslaitteen hankkimista.

Nestor Cables Oy sai tämän työn ansiosta mahdollisuuden tehostaa toimintaansa minimoimalla kierrätykseen menevän teräslangan määrän. Työn aikana yrityksen testauslaitteistoa päivitettiin aiempaa paremmin testaukseen soveltuvaiksi. Testaustulokset ovat nyt entistä luotettavampia ja tulosten hajonta on pienempi.

Hyvänä jatkokehityskohtana olisi saada kelan jatkaminen siirrettyä linjaan, eli kun vanha kela loppuu, liitetään uusi kela vanhaan, ja tuotanto voi jatkua nopeasti. Tämä mahdollistaisi liitoksen tekemisen siellä, missä lankaa käytetään, eikä erillistä puolauslinjaa tarvittaisi. Haasteena tässä on se, että liittämisen ajaksi teräslangan syöttäminen täytyisi pysäyttää, mikä taas ei ole helppoa prosessin aikana. Tulisikin siis suunnitella jonkinlainen makasiini, josta voitaisiin ottaa teräslankaa liittämisen aikana. Liittäminen tulisi saada nykyistä nopeammaksi suorittaa ja näin makasiinin koko mahdollisimman pieneksi ja edulliseksi toteuttaa.

Työ oli haastava, koska aihe ei ollut minulle sitä ihan ominta alaa. Työn tekemistä helpotti kuitenkin ensiluokkainen ohjaus ja hyvä teoretiedon saatavuus.

Lisähaasteena oli se, että osa työssä käytetyistä Oulun ammattikorkeakoulun konelaboratorion tutkimuslaitteista ei ollut ollut käytössä ennen tätä työtä. Työn aikana jouduttiin ottamaan käyttöön osa laitteista, mikä vei aikaa. Oulun ammattikorkeakoulun konelaboratoriossa tehdyt tutkimukset veivät ehkä samalla kuitenkin koulun toimintaa eteenpäin.

## LÄHTEET

1. Nestor Cables Oy. Saatavissa: <http://www.nestorcables.fi/>. Hakupäivä 2.2.2016.
2. Härkönen, Seppo – Kivivuori, Seppo 2009. Lämpökäsittelyoppi. Helsinki: Teknologiainfo Teknova Oy.
3. Kinnula, Jukka 2012. T312305 Konstruktiomateriaalit 3 op. Luentomateriaali syksyllä 2012. Oulu: Oulun seudun ammattikorkeakoulu, tekniikan yksikkö.
4. Nevalainen, Harri 2007. Teräsopas. Alkuperäinen julkaisuvuosi 1979, Helsinki: Teknillinen tarkastuskeskus. Saatavissa: <http://www.elisa-net.fi/harri.nevalainen/tietoisk/terasopas.htm>. Hakupäivä 20.1.2016.
5. Matsson, Staffan 1999. Hitsauksen materiaalioppi. Suom. Lars Witting. Helsinki: Suomen Hitsausteknillinen Yhdistys r.y.
6. Lepola, Pertti – Makkonen, Matti 2003. Materiaalit ja niiden käyttö. Helsinki: WSOY.
7. Ideal-Werk. Saatavissa: <http://www.ideal-werk.com/home.html>. Hakupäivä 3.5.2016.
8. Kauppinen, Ville 2015. Tutkimussuunnitelma. Oulu: Nestor Cables Oy.

## Fosfatoitun teräslangan liittämismenetelmät

### 1. Tutkimuksen kohde

- Fosfatoitu teräslanka
- Halkaisijat  $\varnothing 1,20 \pm 0,03$  mm ja  $\varnothing 1,57 \pm 0,03$  mm
- Vetolujuus  $\geq 1960$  N/mm<sup>2</sup> (EN10264-2 CLASS B)

### 2. Tavoitteet ja odotetut tulokset


- Ensisijainen tavoite on löytää liitosmenetelmä jolla saavutetaan seuraavat vaatimukset
  - liitoksen vetolujuus on vähintään 80 % ehjän langan vetolujuudesta
  - liitoksen halkaisija on  $\pm 0,03$  mm ehjän langan halkaisijasta
  - taivutussäde
    - prosessin pienin taittopyörä 62,5 mm
    - $\varnothing 1,20$  lanka
      - kaapelin asennuksen aikana 150 mm ja asennettuna 60 mm (FYO2PMU mini 4 - 12)
    - $\varnothing 1,57$  lanka
      - kaapelin asennuksen aikana 230 mm ja asennettuna 115 mm (FYOVD2PMU)
- Toissijainen tavoite on suunnitella testauslaite jolla liitoksen laatu voidaan varmentaa puolausinjalla

### 3. Toteutus ja aikataulu

- Perehdytetään opiskelija nykyisin käytössä olevaan liitosmenetelmään ja tarvittaviin testausmenetelmiin siten että hän voi työskennellä itsenäisesti
- Tutkimus aloitetaan joulukuussa 2015
- Ensisijainen tavoite on saavutettu huhtikuun 2016 loppuun mennessä

### 4. Tutkimusryhmä, työnjako, budjetti

- Tutkija/opinnäytetyön tekijä, OAMK: Tuomas Laakko
- Ohjaaja, OAMK: Esa Törmälä
- Ohjaaja, Nestor Cables Oy: Ville Kauppinen
- Testaus: Sirpa Mäkin
  
- Aiheutuneet kulut hyväksytään tapauskohtaisesti


09.03.16

### Test report

Customer : Tuomas Laakko Specimen type : Normal  
 Test standard : Tensile Tester : Seppo Jarvenpaa  
 Material : Teraslangka 1.57


Pre-load : 4 MPa Speed, yield point : 0,0025 1/s  
 Speed, E-Modulus : 30 MPa/s Test speed : 0,008 1/s

**Test results:**

No.	Specimen no.	Specimen Identifier	E GPa	R <sub>0,2</sub> MPa	R <sub>0,01</sub> MPa	R <sub>m</sub> MPa	A <sub>g(50%)</sub> %	A <sub>g</sub> %	A <sub>t(50%)</sub> %	A <sub>t0</sub> %	L <sub>0</sub> mm
1	1		211	1690	-	2076	1,92	0,94	1,9	1,0	80,00
2	2		205	1762	-	2123	1,99	0,96	2,0	1,0	80,00
3	3		206	1755	-	2122	1,99	0,96	2,0	1,0	80,00
4	4		211	1735	-	2091	1,77	0,77	1,8	0,8	80,00
5	5		208	1741	-	2094	1,80	0,79	1,8	0,8	80,00
6	6		208	1728	-	2097	1,91	0,90	1,9	0,9	80,00
7	7		204	1803	-	2122	2,00	0,96	2,0	1,0	80,00
8	8		207	1751	-	2106	1,92	0,90	1,9	0,9	80,00
9	9		208	1736	-	2076	1,82	0,82	1,8	0,8	80,00
10	10		202	1769	-	2114	1,95	0,91	2,0	0,9	80,00

No.	L <sub>0</sub> mm	d <sub>0</sub> mm	t <sub>test</sub> s
1	120,00	1,56	105,86
2	120,00	1,56	111,71
3	120,00	1,56	110,63
4	120,00	1,56	103,12
5	120,00	1,56	104,53
6	120,00	1,56	109,15
7	120,00	1,56	117,04
8	120,00	1,56	113,17
9	120,00	1,56	106,30
10	120,00	1,56	113,91


09.03.16

### Test report

Customer : Tuomas Laakko Specimen type : Welded  
 Test standard : Tensile Tester : Seppo Jarvenpaa  
 Material : Teräslanka 1.57

Pre-load : 4 MPa Speed, yield point : 0,0025 1/s  
 Speed, E-Modulus : 30 MPa/s Test speed : 0,008 1/s

#### Test results:

No.	Specimen no.	Specimen Identifier	E GPa	R <sub>p0.2</sub> MPa	R <sub>0.2H</sub> MPa	R <sub>m</sub> MPa	A <sub>g (corr)</sub> %	A <sub>g</sub> %	A <sub>t (corr)</sub> %	A <sub>50</sub> %	L <sub>0</sub> mm
1	1		202	1658	1707	1707	1,19	0,35	1,4	0,6	80,00
2	2		258	1464	-	1719	1,11	0,44	1,1	0,5	80,00
3	3		206	1702	-	1757	1,14	0,29	1,1	0,3	80,00
4	4		190	1676	1690	1690	1,15	0,26	1,2	0,4	80,00
5	5		202	1707	1740	1740	1,16	0,30	1,2	0,4	80,00
6	6		197	1696	1745	1745	1,21	0,33	1,3	0,4	80,00
7	7		207	1617	-	1672	1,15	0,34	1,2	0,3	80,00
8	8		204	1641	1686	1686	1,14	0,32	1,2	0,4	80,00
9	9		201	1696	-	1728	1,16	0,31	1,2	0,4	80,00
10	10		193	1731	-	1774	1,21	0,29	1,2	0,3	80,00

No.	L <sub>0</sub> mm	d <sub>0</sub> mm	t <sub>test</sub> s
1	120,00	1,56	68,18
2	120,00	1,56	69,24
3	120,00	1,56	72,08
4	120,00	1,56	76,59
5	120,00	1,56	76,44
6	120,00	1,56	70,62
7	120,00	1,56	71,60
8	120,00	1,56	69,52
9	120,00	1,56	67,94
10	120,00	1,56	77,86