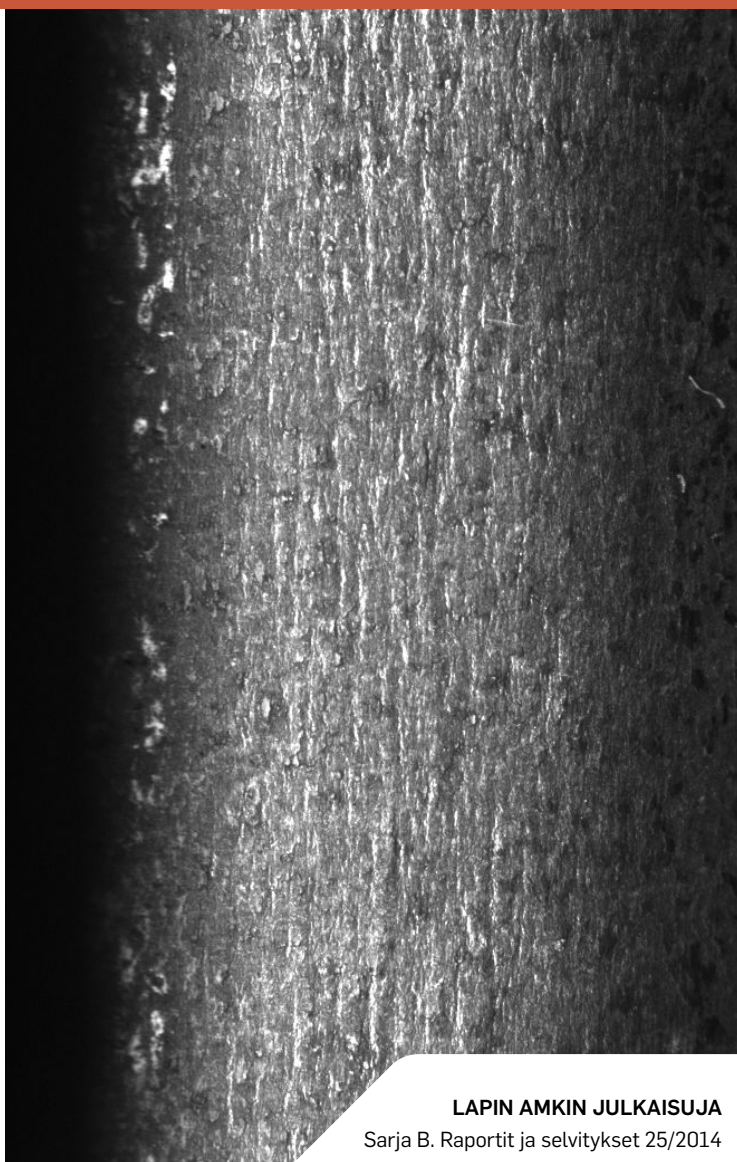
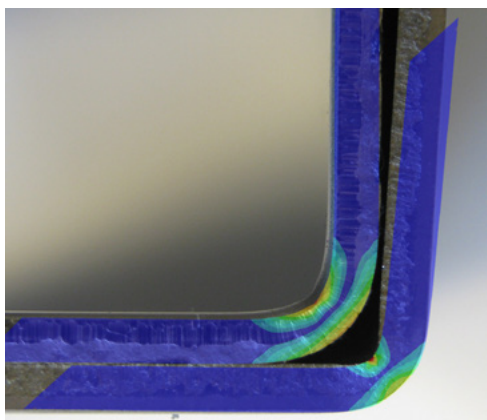
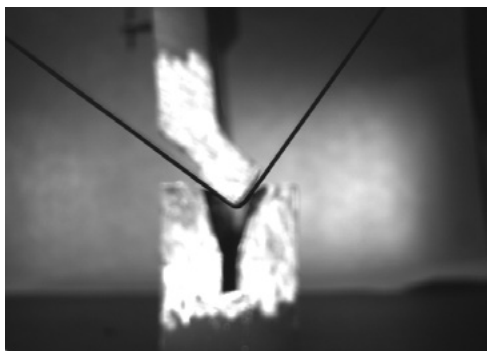
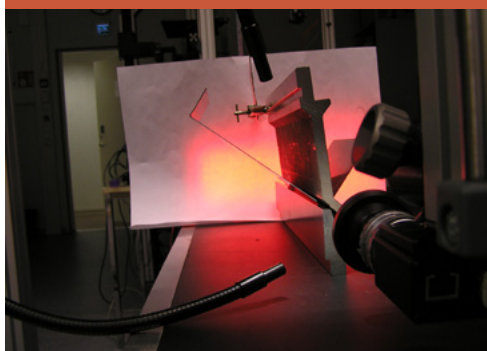


Tutkimus ruostumattomien terästen särmättävyydestä sekä konenäön soveltamisesta

Loppuraportti



**Tutkimus ruostumattomien terästen särmättävyydestä
sekä konenäön soveltamisesta**

Rauno Toppila & Jukka Joutsenvaara

Tutkimus ruostumattomien terästen särmättävyydestä sekä konenäön soveltamisesta

Loppuraportti

Sarja B. Raportit ja selvitykset 25/2014

© Lapin ammattikorkeakoulu ja tekijät

ISBN 978-952-316-052-1 (pdf)

ISSN 2342-2491 (verkkajulkaisu)

Lapin ammattikorkeakoulun julkaisuja
Sarja B. Raportit ja selvitykset 25/2014

Rahoittajat: Euroopan Unioni
Euroopan aluekehitysrahasto,
Vipuvoimaa EU:lta 2007 - 2013, Tekes,
Elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus

Kirjoittaja: Rauno Toppila & Jukka Joutsenvaara
Taitto: Lapin AMK, viestintäyksikkö

Lapin ammattikorkeakoulu
Jokiväylä 11 C
96300 Rovaniemi

Puh. 020 798 6000
www.lapinamk.fi/julkaisut

Lapin korkeakoulukonserni



Lapin korkeakoulukonserni LUC
on yliopiston ja ammattikorkeakoulun strateginen yhteenliittymä.
Konserniin kuuluvat Lapin yliopisto
ja Lapin ammattikorkeakoulu.
www.luc.fi

Sisällys

1 ESIPUHE	7
2 PROJEKTIN SISÄLLÖN TOTEUTUMINEN	9
2.1 Projektin tavoitteet	9
2.2 Särmyksen teoriaa, testausta ja konenäkösovellus	10
2.3 Ferriittisen ruostumattoman teräksen elinkaariselvitys	13
2.4 Yritysten tapauskohtaiset tutkimukset	15
2.5 Tutkimuksessa esiintyneet ongelmat	21
2.6 Jatkotutkimukset	21
3 PROJEKTIN TIEDOTTAMINEN	23
3.1 Seminaarit ja julkaisut	23
3.2 Esitelmät	24
4 PROJEKTIN TALOUS JA RESURSSIEN KÄYTTÖ	25
5 TUTKIMUSTULOKSET	27
5.1 Kirjallisuusselvitys	27
5.2 Taivutustestaus ilmapölytaivutuksessa sekä simulointi	27
5.3 Koneenäkösovelluksen tulos ja muita kaupallisia ratkaisuja kulmamittaukseen	29
5.4 Särmystestaus	32
5.5 Vetokokeiden tulokset	32
5.6 Muovattavuus	33
5.6 Olosuhdetestaus	33
5.7 Asiantuntijaverkostoitumisen/yhteistyön tulokset	33

6 JOHTOPÄÄTÖKSET	35
6.1 Kirjallisuusselvityksen johtopäätökset (MYJ)	35
6.2 Taivutustestien tulokset ilmavälitaivutuksessa	35
6.3 Simulointi	36
6.4 Konenäkösovelluksen johtopäätökset	36
6.5 Särmäystestien tulokset	36
6.6 Vetokokeiden tulokset	37
6.7 Muovattavuus	37
6.8 Olosuhdetestaus	38
6.9 Asiantuntijaverkostoitumisen/yhteistyön tulokset.	38
7 OHJAUSRYHMÄN KOMMENTIT PROJEKTIN TOTEUTUMISESTA JA JATKOTOIMET	41
7.1 Jatkoprojektit	41
8 LÄHTEET	43

1 Esipuhe

Jalosärmä- projektia käynnistettäessä austeniittisen ruostumattomien terästen hinta oli huipussaan, lähinnä nikkelin korkeasta hinnasta johtuen (kts. kuva 1). Tämä herättikin globaalin tarpeen etsiä korvaavia teräksiä, jotka olisivat halvempia ja joiden hinta pysyisi stabiilimpana seosaineiden hintakehityksestä riippumatta. Ratkaisuna tähän olivat ferriittiset ruostumattomat teräkset, joihin nikkeliä ei ole seostettu lainkaan.

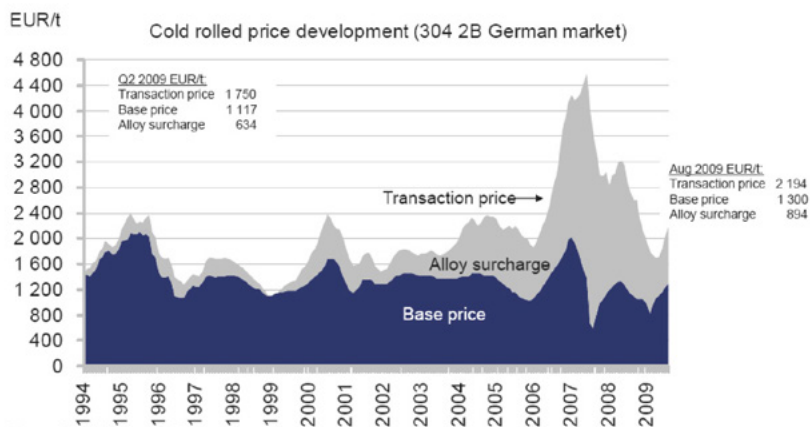
Ferriittisiä ruostumattomia teräksiä on käytetty n. 20–25% ruostumattoman teräksen kulutuksesta jo kauan maailmanlaajuisesti. Käyttö on kuitenkin keskittynyt harvoihin sovelluksiin (pesukoneen rummut, tiskialtaat, autojen pakoputkistot) ja teräslaatuja on ollut vähän (AISI 430, 444, 409, EN 1,4003). Näin ollen niiden käyttö austeniittisiä laatuja korvaavina teräksinä ollut vähäistä. Lisäksi niiden käytettävyydestä, särmättävyyden ja muovattavuuden osalta oli tietoa saatavissa vähän.

Lisäksi Outokummun strateginen päätös ferriittisten laatuja kehittämistä ja valmistamisesta loi tarpeen erityisesti soveltavalle tutkimukselle, jonka olennainen osa tulisi olemaan ferriittisten laatuja käytettävyyden testaus todellisissa särmätyissä tuotteissa.

Jalosärmä – projekti toteutettiin aikavälillä 1.9.2007 – 30.6.2010. Projektin rahoittajina toimivat TEKES ja EAKR. Projektin vastuullisena johtajana toimi TkT Seppo Saari ja projektipäällikkönä DI Rauno Toppila.

Projektiin osallistui 6 +1 yritystä (1 yritys seurantajajäsenenä ja 6 yritysrahoituksen muodossa), jotka edustivat pk- yrityksiä Kemi – Tornion ja Oulun alueelta, lisäksi yksi yritys Joensuusta ja yksi yritys Vaasasta. Kemi-Tornion ammattikorkeakoulun materiaalin käytettävyyden ja optisen mittaustekniikan tutkijat toimivat projektin resursseina.

European cold rolled stainless steel price development



4 | September 17, 2009 | Karri Kaitue

**OUTO
KOMPU**

Kuva 1. Ruostumattoman teräksen hintakehitys v. 1994 – 2009.

2 Projektin sisällön toteutuminen

2.1 PROJEKTIN TAVOITTEET

Projektin tavoitteena oli tutkia ruostumattomien terästen särmättävyyttä monipuolisin teknologisin kokein sekä särmättävyyden vaihtelun metalliopillisiä taustoja. Näihin liittyen projektin ensisijaisia tavoitteita olivat:

1. Määrittää valituille ruostumattomille teräslaaduille ja -lajeille soveltuvat särmäysparametrit haluttujen taivutuskulmien- ja säteiden aikaansaamiseksi. Huomiota kiinnitetään niin materiaaliominaisuuksien (mekaaniset ominaisuudet, austeniitin stabiilisuus, yms.) kuten myös työkaluvalinnan vaikutukseen.
2. Kehittää konenäön soveltamiseen perustuvaa on-line mittaustekniikkaa särmäystapahtuman seurantaan.
3. Kehittää särmäyskokeiden tulosten perusteella ohjeistus mittatarkan särmäyksen mahdollistamiseksi:
 - Matemaattinen malli, jonka avulla kyetään ennustamaan syntyvä taivutuskulma- ja säde tunnettaessa materiaalin mekaaniset ominaisuudet sekä käytettävät särmäystyökalut.
 - Mallin käyttäminen suoraan modernin särmäyspuristimen ohjauksessa.
4. Edellä mainittujen tulosten avulla madaltaa ruostumattomia teräksiä särmäävien/käyttävien yritysten kynnystä siirtyä austeniittisiä vakiolaatuja (1.4301 ja 1.4404) korvaavien terästen käyttöön.
5. Tuottaa PK-sektorin yrityksille suoraan käytäntöön sovellettavaa tietoa uusien, edullisten/paremmin tiettyihin käyttötarkoituksiin soveltuvien austeniittisiä vakiolaatuja korvaavien ruostumattomien ohutlevyterästen käyttömahdollisuuksista ja näin edesauttaa yritysten kannattavuutta ja kilpailukykyä tiukentuvilla markkinoilla.

Projektissa tehdyt tutkimukset jaettiin kahteen kokonaisuuteen:

- a) Kemi - Tornion ammattikorkeakoulussa (M-Lab- ympäristö) ja JaloteräsStudiassa Torniossa keskityttiin kattavien ja tilastollisesti luotettavien kokeiden suorittamiseen sekä kirjallisuusselvityksiin. Optisen mittaustekniikan ryhmä toteutti konenäkösovelluksen.
- b) Yrityksien tapaustutkimukset toteutettiin pääosin niiden omissa tiloissa.

Projektissa tutkittiin EN 1.4301, EN 1.4307, EN 1.4404 ja EN 1.4318 austeniittisia laatuja, EN 1.4016 ja EN 1.4509 ferriittisiä laatuja, EN 1.4162 austeniittis-ferriittistä laatua sekä EN 1.4372 mangaaniseosteista austeniittistä laatua.

Tällä projektilla luotiin edellytyksiä hinnaltaan huokeamman ferriittisen teräksen käyttämiseksi pk- yrityksissä, tarkemmat tiedot tutkimuskohteista on annettu yritys-kohtaisissa tapaustutkimuksissa. Särämäystestit, konenäkösovellus ohjelmistoinen ja erilaiset olosuhdetestit antavat hyvän perustan ferriittisen teräksen käytön jalkauttamiseen suomalaisissa yrityksissä.

2.2 SÄRMÄYKSEN TEORIAA, TESTAUSTA JA KONENÄKÖSOVELLUS

Projektin alussa tutkittiin kirjallisuusselvityksen avulla ruostumattomien terästen särnäyttävyyttä, erilaisia takaisinjoustop mittaustapoja ja näihin sovellettuja materiaattisia malleja. Tässä vaiheessa varmistui se, että ferriittisten ruostumattomien terästen särnäyksestä on julkaistu tutkimustietoa erittäin vähän.

Kokeellisessa tutkimuksessa tehtiin laajoja särnäytestejä Torniossa JaloteräsStudiassa sekä kolmessa osallistujayrityksessä. Kemi-Tornion ammattikorkeakoulun rikkovan aineenkoetuksen laboratoriossa Kemissä (M-Lab) tutkittiin terästen mekaanisia ominaisuuksia kuten murto- ja myötölujuutta, tehtiin taivutuskokeita sekä tutkittiin särnäytyjen näytteiden ulkosärmän pinnankarheutta. Toptester Oy:llä Rovaniemellä teetettiin olosuhdekaappikokeita. Hämeenlinnan AMK:n ohutlevykeskuksessa määritettiin yhdelle ferriittiselle laadulle rajamuovattavuuspiirros (FLC). Luulajassa käytiin tutustumassa Svensk Verktygsteknik Ab:n käyttämään kulmanmittauslaitteeseen. Ko. kulmanmittauslaitetta käytettiin myös osassa särnäyskokeiden takaisinjoustop mittauksia. Kaikkiaan särnäyskokeita tehtiin lähes 800 kpl ja taivutuskokeitakin lähes 200 kpl. Ama-Prom Finland toimitti särnäyskokeissa käytetyt painin työkalut.

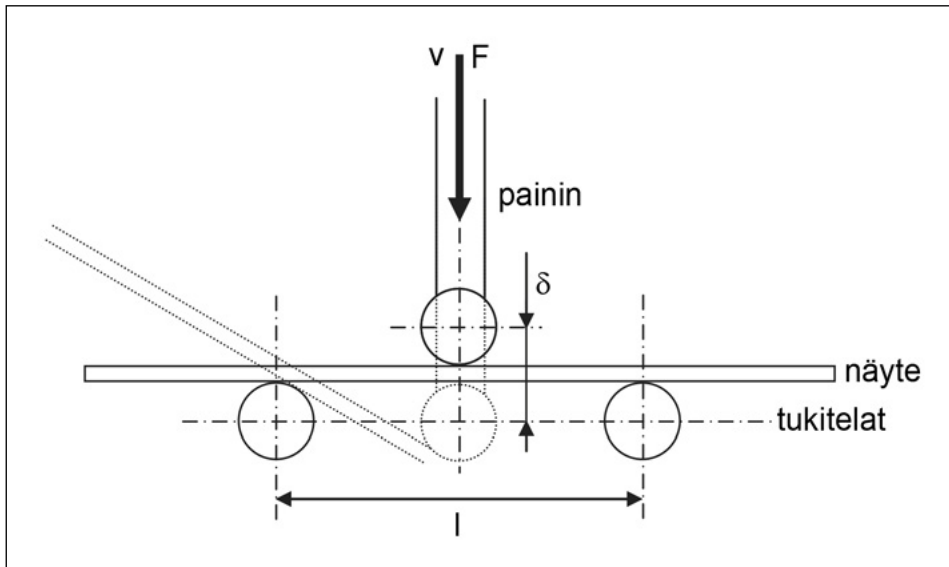
Särnäyksen laatutasoa yritettiin määrittää mittaamalla pinnankarheutta taivutetun kulman ulkosärmästä. Testeissä ei löydetty selvää yhteyttä särnäytyn ja särnäämätömän pinnan pinnankarheuden välille. Kuvassa 2 on esitetty esimerkki laserprofilometrillä mitatusta pinnankarheusprofiilista.

Konenäkösovellus on todettu toimivaksi ja nopeaksi järjestelmäksi ainakin pienille (300mm x 300mm) ja ohuille (0,7- 1,5 mm) kappaleille. Järjestelmää käytetään nyt hyödyksi TEKES-EAKR rahoitteisessa KuURak- (tutkimus Kuumavalssattujen Ultra-lujien rakenne- ja kulutusterästen käytettävyydestä) projektissa.

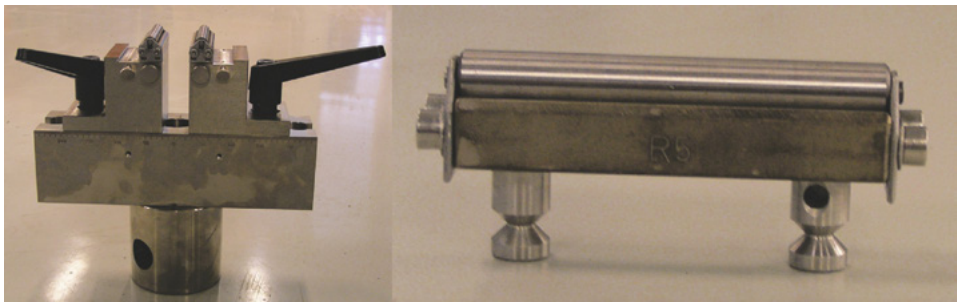


Kuva 4. Koejärjestely ja kuvapari mittaustilanteesta.

Vapaataivutusta tutkittiin 3-pistetaivutuskokeiden avulla (kts. kuva 5). Testit toteutettiin Zwick Allround Floor 250kN -vetokoneen taivutustyökaluilla (kts. kuva 6). Tutkittavat materiaalit olivat EN 1.4301, EN 1.4509, EN 1.4404 ja EN 1.4218 ruostumattomat teräkset. Kaikkiaan taivutustestejä tehtiin 277 kappaletta, joiden tulokset on raportoitu teknisessä raportissa /40/. Työssä saatiin määritettyä regressiomalleja, jotka kuvaavat taivutusvoiman tarvetta eri teräsladuilla paksuudesta (s) ja tukitelojen välimatkasta riippuen (l).

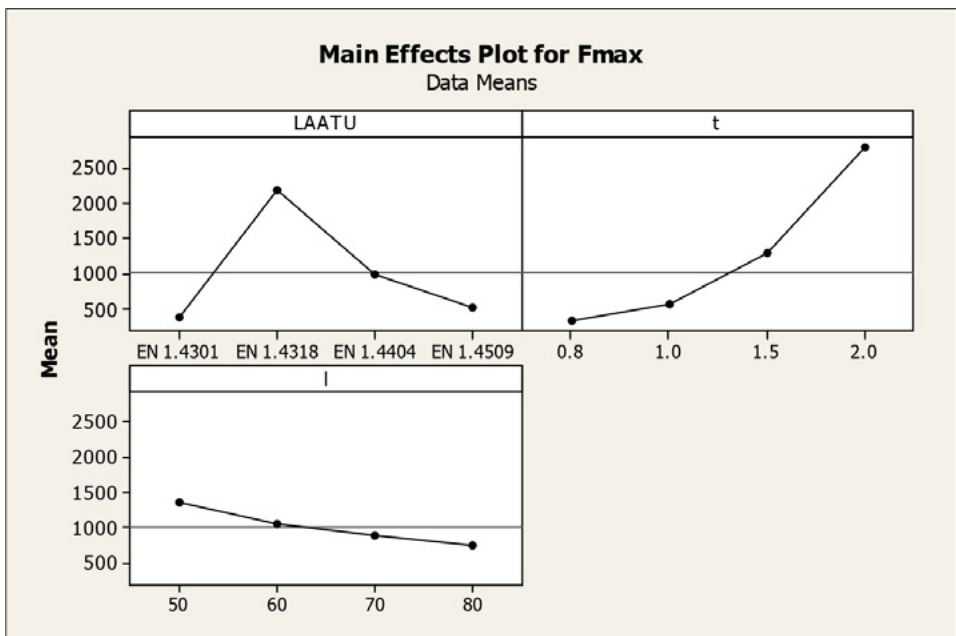


Kuva 5. Kolmipistetaivutustestin periaatekuva.



Kuva 6. Zwick Allround Floor 250kN –vetokoneen 3- pistetaivutustyökalu

Tulosten perusteella näytepaksuus vaikutti eniten taivutusvoimaan, sen jälkeen teräslaatu ja vähiten vaikutusta oli tukitelojen välillä. Tämä nähdään kuvasta 7.



Kuva 7. Taivutuksen maksimivoiman (Fmax) riippuvuus teräslaadusta (LAATU), näytteen paksuudesta (t) ja tukitelojen välimatkasta (l).

2.3 FERRIITTISEN RUOSTUMATTOMAN TERÄKSEN ELINKAARISELVITYS

Projektin edetessä useammassa yhteydessä heräsi kysymys siitä, mitä erilaisten materiaalien käyttäminen merkitsee tuotteen elinkaaren tasolla ja mitä kysymyksiä tulee ottaa huomioon materiaalin valintaa tehtäessä. Tästä aiheesta tehtiin kattava kirjallinen

selvitystyö sekä erillinen teknillinen raportti, joissa kummassakin käytettiin hyödyksi Euro Inox:in LCC- ohjelmistoa, joka oli vapaasti asennettavissa Euro Inox:in kotisivuilta <http://www.euro-inox.org/LCC/flash.html>.

The screenshot shows a web-based application window titled "Life cycle summary of a bus underframe". It features a navigation menu at the top with options: Introduction, Quick Reference, Case Study, Your own LCC calculations, Help Texts, Credits, and Liability waiver. Below the menu are four buttons: Application info, Rates & duration, Initial costs, and Operating costs. The main content area displays a table comparing costs for Stainless Steel, Carbon Steel, and Material 3. The table is divided into two sections: Initial costs and Operating costs, with a Total LCC row at the bottom. A sidebar on the left contains the text "Life Cycle Costing" and three website URLs: www.chromium-association.com, www.euro-inox.org, and www.sassteel.co.za.

Description	Stainless Steel	Carbon Steel	Material 3
Material costs	4360	1860	0
Fabrication costs	16000	16000	0
Other installation costs	2750	4180	0
Initial costs	23130	22940	0
Maintenance	0	1376	0
Replacement	0	2744	0
Lost production	0	0	0
Material related	0	0	0
Operating costs	0	4120	0
Total LCC	23130	26160	0

Kuva 8. Euro Inox:in LCC- sovellusohjelmiston pääkäyttöliittymä.

Laura Eskolan tekemässä tutkimuksessa käytiin läpi tätä Euro Inox- tiedotusverkon toteuttamaa elinkaarilaskennan laskentasovellusta. Tulokset on esitetty teknisessä raportissa ”Terästen elinkaarien kustannusvertailua” /3/. Tutkimuksen tarve tuli ilmi yritysten tapaustutkimusten yhteydessä, kun keskusteltiin pitkän aikavälin kustannus-hyödyistä käytettäessä ferriittisiä ruostumattomia teräksiä. Aihealueena elinkaari-selvitys on erittäin laaja, mutta yhtenä esimerkkinä tehtiin vertaileva laskenta ruostumattoman teräksen ja hiiliteräksen välillä. Työn avulla saatiin selville eroja hiiliteräksen sekä ruostumattoman teräksen kustannuksista sekä ruostumattomista ferriittisen ja austeniittisen teräksen kustannuksista. Näistä eroista voidaan päätellä ruostumattoman olevan parempi ja edullisempi materiaali pitkällä aikavälillä kuin hiiliteräs tarkastellussa kohteessa.

Eskolan tekemää tutkimusta edelsi Kemi-Tornion ammattikorkeakoulun tekniikan alan opiskelijoista kootun projektiryhmän (3 henkilöä) tekemä erikoistyö, jossa tehtiin elinkaariarvioinnin kirjallisuusselvitys /41/.

2.4 YRITYSTEN TAPAUSKOHTAISET TUTKIMUKSET

Heti projektin käynnistyttyä käytiin läpi yritysten odotukset projektin tapaustutkimuksilta, periaate tutkimuksien toteuttamiseen muodostui seuraavanlaiseksi:

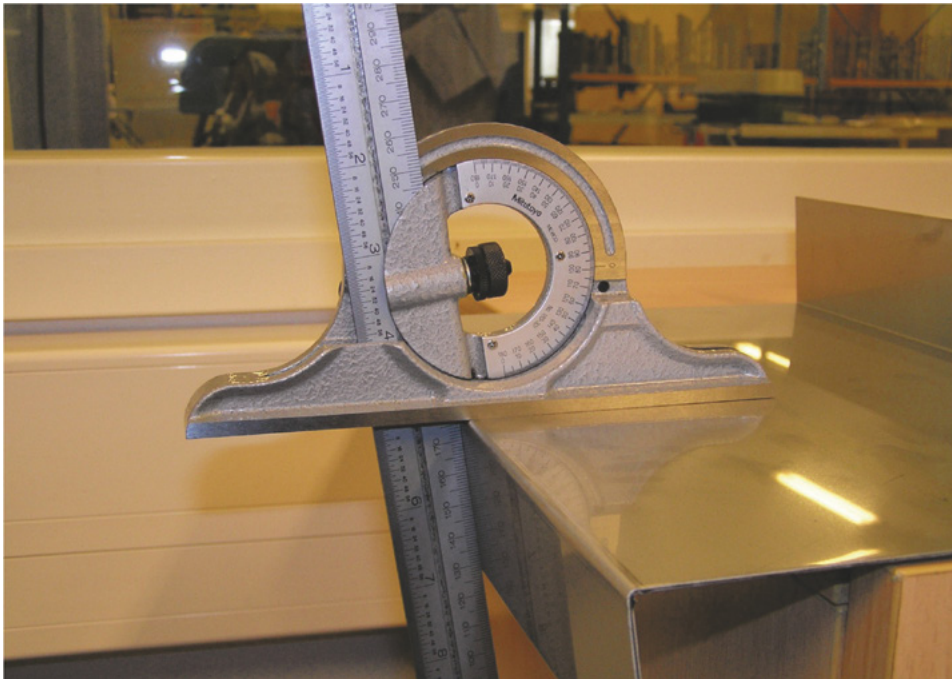
- Yritys mietti sopivan demonstraatiotuotteen (pääsääntöisesti särmätty tuote), jonka materiaaliksi vaihdettiin projektin materiaaleihin kuuluva ruostumaton teräs → testisuunnitelma tehtiin yhdessä projektihenkilöstön (projektipäällikkö ja projekti-insinöörit) kanssa
- Outokumpu Tornio Works toimitti materiaalin yritykselle sekä ohjeistusta materiaalin käytöstä demonstraatiotuotteessa.
- Yritys toteutti demonstraatiotuotteen omissa tuotantotiloissaan olemassa olevaa tuotantoteknologiaa käyttäen; vaihtoehtoisesti demonstraatiotuote voitiin tehdä JaloteräsStudiolla
- Projektihenkilöstö teki tutkimussuunnitelman mukaiset mittaukset ja testaukset sisältäen myös ulkopuolisen asiaintuntijapalvelun toteutuksen
- Projektihenkilöstö raportoi tulokset tutkimusraportteina yrityksiin ja TEKES:iin (sisältäen luottamuksellisen osan) ja ohjausryhmälle (vain julkinen osa)

Projektin aikana yritysten tapaustutkimuksia toteutettiin seuraavasti:

2.4.1 Leinolat Oy

Valittu demonstraatiotuote oli laivamoottorin suojamoduuli, jossa on käytetty materiaalina EN 1.4301 austeniittista ruostumatonta terästä. Se korvattiin yhdessä moduuleista EN 1.4509 materiaalilla. Käyttöolosuhteet olivat: meri- ilmasto ja materiaalin pinnan lämpötila +80°C. Kyseiset 8R32- koemoduulit asennettiin ms Silja Serenadelle 14.5.2009. Ensimmäinen tarkastus tehtiin 23.6.2009, jolloin moduulit olivat kunnossa. Vuositasolla koneen käyttötunnit ovat luokkaa 4300 tuntia ja testauksen aikana materiaali on alttiina dynaamiselle rasitukselle ja korroosiolle (meri-ilmasto + korotettu lämpötila). Osa testeistä kestää 10 000 tuntia (dynaaminen kuormitus), joten tältä osin testaus jatkuu projektin päätyttyäkin. Moduulien testi oli projektin päättyessä (30.6.2010) puolessa välissä (5000 h). Silmin havaittavia murtumia tai korroosiota ei ole havaittu. Testaus kestää vielä kaksi vuotta, jonka jälkeen moduulit saadaan lähempää tarkastelua ja analysointia varten KTAMK:n käyttöön. Tulokset raportoidaan Outokummun Tornion tutkimuskeskukselle. Tämä testi tulee olemaan tarkasteluajaltaan yksi pisimmistä kenttätesteistä.

Leinoloitten valmistusprosessia silmälläpitäen tehtiin Vaasan tehtaan tuotantotilassa särmäystestit materiaaleille EN 1.4301, EN 1.4509, EN 1.4016 ja EN 1,4372. Testauksen tulokset on raportoitu teknisessä tiedotteessa /23/.



Kuva 9. Kulmanmittausta Leinolot Oy Vaasan tehtaalla tehdyissä särmäystesteissä.

Eniten särmäysvoimaa vaati mangaaniseosteinen EN 1.4372 austeniittinen laatu. Takaisinjousto oli suurinta EN 1.4301 austeniittisella laadulla. Koejärjestelyt on kuvattu testausmuistiossa /24/.

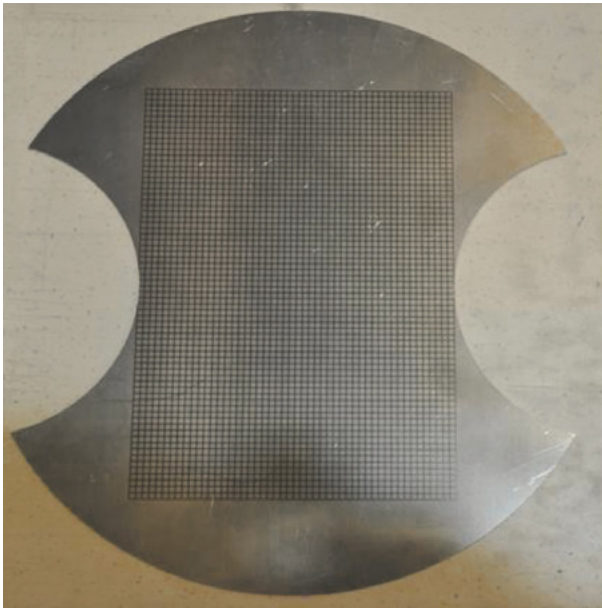
Yritys käyttää tuotannossaan materiaalien liittämiseen pääasiassa pistehitsausta ja niittaamista. Yrityksen edustaja halusi tietoa eri laatujen korroosionkestävyydestä ja liitostavan vaikutuksesta siihen. Tämän vuoksi tehtiin koekappaleita, jotka sitten toimitettiin Rovaniemelle Toptester Oy:lle olosuhdetestejä varten. Tulokset on raportoitu teknisessä raportissa /7/.

Leinolot jatkavat KTAMK:n TEKES / EAKR- hankkeessa Jalosauma (tutkimus ferriittisten ruostumattomien terästen käytettävyydestä: hitsattavuus).

2.4.2 Vemta Oy

Vemta Oy:n valitsema kohde oli syvävedettävä kappale, joka tuotteen muodossa on joko käsienvaivaksi tai lattiakaivo. Näitä molempia on ennen valmistettu teräksestä EN 1.4301. Koemateriaalina käytettiin EN 1.4509 ja EN 1.4016, Vemta Oy vastasi testien tekemisestä itsenäisesti omissa tuotantotiloissaan Joensuussa, missä projektin henkilökunta ja OTW:n edustaja saivat seurata testauksia.

Projektin tehtävänä olikin lähinnä hakea muovattavuudeltaan sopivin materiaali syvävetoon. Ensimmäisien testien jälkeen näytti siltä, että EN 1.4509 olisi soveltuvin materiaali syvävetoon, joten tämän varmistamiseksi tilattiin Hämeenlinnan AMK:sta rajamuovattavuusmääritys tälle materiaalille /25/.



Kuva 10. Yksi viidestä rajamuovattavuuskäyrän määrittämiseen käytettävistä näytteistä.



Kuva 11. Rajamuovattavuuskäyrän määrittämiseen käytetty muovauspuristin.

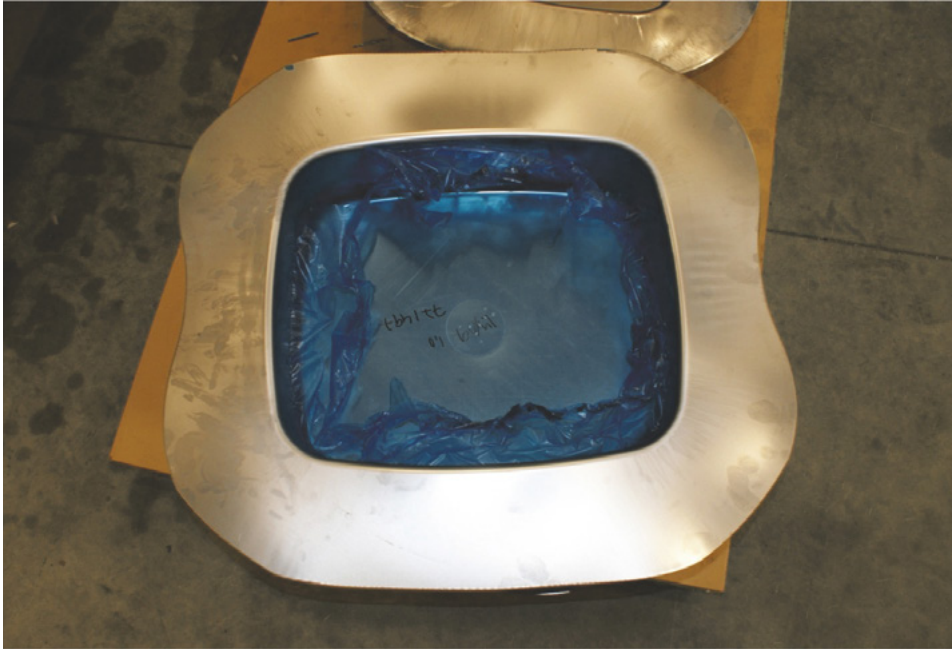
Rajamuovattavuuden määrittäminen EN 1.4509 materiaalille tehtiin Hämeenlinnan AMK:ssa (Kuvat Lassi Martikainen ja Johanna Hiljanen HAMK)



Kuva 12. Muovattavuuden testaukset Erichsenin tehtaalla 23.6.2009.

Projektin aikana testattiin M-Lab- laboratorioon hankittavia laitteita Saksassa Erichsenin tehtaalla, jolloin oli mahdollista testata myös 3 mm:n vahvuista ferriittistä EN 1.4016 terästä, mikä osoittautui muovattavuudeltaan hyväksi.

Lisäksi asiantuntija- apuna käytettiin lisäksi Outokummun Tornion ja Avestan henkilöitä. Kysymykset koskivat testeissä esiintynyttä reunan rypyttymistä, työkalun jättämää jälkeä, työvälineen likaantumista, sekä erilaisia toleransseja kuten työkalun pyörityssädettä. Lisäksi Vemta Oy kokeili erilaisia pidätysvoimia voiteluun käytettäviä aineita, sekä niiden seossuhteita.



Kuva 13. Syvävedetty EN 1.4509 testikappale Vemta Oy Joensuun tehtaalla

Lopputuloksena saatiin onnistumaan koekappale, jonka perusteella Vemta Oy teki päätöksen vaihtaa materiaalin austeniittisestä EN 1.4301 ferriittiseen EN 1.4509.

Kappaleet ovat nyt käytössä ja pitemmällä aikavälillä selviää, miten ne kestävät vaikkapa teollisuusympäristössä, kovassa käytössä. Kuvia ruostumattomista tuotteista löytyy Vemta Oy:n sivuilta.

Vemta Oy jatkaa yhteistyötä KTAMK:n kanssa ja viimeksi on tutkittu kuparin käyttämistä lattiakaivon materiaalina syvävedettävissä tuotteissa.

2.4.3 Ocotec Oy

Ocotec Oy:llä tehtiin särmäystestejä materiaaleille EN 1.4509 ja EN 1.4016 heidän tuotantotiloissaan Haukiputaalla. Testien suunnittelusta vastasi yritys itse ja varsinaisen raportoinnin suorittivat KTAMK:n projekti- insinöörit. Koejärjestelystä ja särmäyskokeiden tuloksista lukuarvoja taulukossa /26/.

Toinen tutkimuksen kohde Ocotec Oy:llä oli ferriittisen EN 1.4016 teräksen lävistettävyyden, jota testattiin heidän tuotantotilassaan levytyökeskuksella. Materiaalin vahvuus oli 3 mm ja muut asetusarvot samat kuin lävistettäessä EN 1.4301 terästä. Vastoin operaattorin ennako- odotuksia, lävistäminen onnistui helposti ja lävistysjälki oli hyvä, lähes jäysteetön. Testin tulos kertookin, ettei 3- 4 mm:n ferriittistä tarvitsekaan aihoida laserilla tai plasmalla, vaan tuohon paksuuteen työstö onnistuu normaalilla levytyökeskuksella ja normaaleilla työkaluilla ja työkaluasetuksilla. Raportti lävistettävyydestä /36/.



Kuva 14. EN 1.4016 Lävistettävyyden testaaminen Ocotec Oy

Myös Ocotec teetti omiin liittämismenetelmiinsä soveltuvan korroosiotestauksen Toptesterillä Rovaniemellä. Materiaalina olivat EN 1.4301 ja EN 1.4509, liittämismenetelminä MIG- ja TIG- hitsaus, sekä juottaminen, Toptester- raportti /34/ ja testaus-suunnitelma /35/.

Huomattavaa on, että hitsauksen lämmöntuonti, hitsisauman laatu (viimeistely) ja loppukäsittely (peittaus) ovat ferriittisillä ruostumattomilla teräksillä kriittisiä tekijöitä ja nämä toimenpiteet täytyykin suorittaa huolellisesti. Lisätietoa ruostumattomien terästen hitsauksesta /38/.

Edellä mainitun johdosta Ocotec Oy jatkaa KTAMK:n TEKES / EAKR- hankkeessa Jalosauma (tutkimus ferriittisten ruostumattomien terästen käytettävyydestä: hitsattavuus) projektissa, jossa yritykselle tutkitaan ferriittisen laserhitsattavuutta.

2.4.4 Betamet Oy

Betamet Oy:n tutkimusaiheena oli EN 1.4509 sekä EN 1.4016 käyttäminen korvaamaan EN 1.4301. Kokonaisuudessaan testaaminen sisälsi laserleikkausta, särmäystä, hitsausta sekä peittausta. Koekappale on 240 ltr:n vetoinen roska-astia, johon kohdistuu myös mekaanista kulutusta astian tyhjennysvaiheessa. Kenttätesteihin valmistettiin kuusi testikappaletta, kolme kumpaakin materiaalia ja niiden sijoituspaikat valittiin Oulusta, Kemistä ja Tornioista.



Kuva 15. Betamet Oy:n testikappalet valmistettiin Tornion JalosteräsStudiolla

Koekappaleiden seuranta (kuvaus ja dokumentointi) ovat KTAMK:lla, mutta käyttäjökokemukset ja palaute tulevat testaajilta. Myös tämä tapaustutkimus tulee jatkumaan ajaltaan pitemmälle kuin projekti, mutta tiedonvälitys jatkuu Jalosärmä-projektin päättymisen jälkeen. Testikappaleiden valmistus ja seuranta löytyy tutkimusraportista /6/.

Betamet Oy:n henkilöstössä tapahtuneen muutoksen seurauksena yhteistyö KTAMK:n on jatkunut Mikko Jurvelin Oy:n kanssa.

2.4.5 Celermec Oy

Lähtötilanteessa määriteltiin Celermec Oy:n kanssa tutkimuskohteeksi laadun 1.4.2016 lävistettävyyden testaus. Tämä materiaali lähetettiin Celermecille, mutta sama testaus tehtiin varmuuden vuoksi myös Ocotec'in kanssa. Sairastapauksen vuoksi yrityksessä ei ollut henkilöä, joka olisi aktiivisesti osallistunut projektiin tai yrityksen testauksiin, joten mitään raportoitavaa Celermecin osalta ei ole.

2.4.6 Ama-Prom Oy

Ama-Prom Oy oli tässä projektissa johtoryhmän päätöksestä ns. seurantajäsenenä, joka toimitti Amada- särmäriin kuuluvat työvälineet. Johtavana ajatuksena projektin alussa oli, että saadaan laadittua särmäyskoneeseen samanlainen materiaalikirjasto, kuin on jo olemassa austeniittisille laaduille. Projektin edetessä havaittiin kuitenkin, että tällaisen kirjaston laatiminen ferriittisille laaduille vaatii paljon suuremman ja kattavamman särmäystestisarjan, kuin projektissa on mahdollista toteuttaa. Ama-Promin osalta yhteistyö KTAMK:n kanssa on suunniteltu ja tarjottu toteutettavaksi projektin ulkopuolisena tilaustutkimuksena, mutta tämän raportin kirjoittamisen aikana yhteistyö ei ole konkretisoitunut.

2.5 TUTKIMUKSESSA ESIINTYNEET ONGELMAT

Uusien ferriittisten materiaalien tuotannosta saamiseen kului alussa aikaa, koska toiveet materiaaliavaruuksista vaihtelivat suuresti. Yritysten osalta testeissä huomattiin myös särmäyskoneiden vaihtelevat ominaisuudet ongelmallisiksi.

2.6 JATKOTUTKIMUKSET

Projektissa jäi selvittämättä osa tutkimussuunnitelmaan kirjatusta työpaketeista. Onnistuneen särmäyksen ohjeistamiseen liittyy monta eri osatekijää, niin materiaalin, kuin koneiden ohjauksen ja työkalujenkin osalta. Jalosärmä- projektin aikana havaittiin lisäksi se, että ferriittisten ruostumattomien terästen hitsattavuus on täysin erilainen kuin normaalien austeniittisten teräslaatuojen hitsattavuus. Tätä selvitetään 1.1.2010 alkaneessa Jalosauma- projektissa.

Vetokokeita, myötö- ja murtolujuustestausta ei toteutettu siinä laajuudessa, kuin tutkimussuunnitelmassa oli määritelty, mutta nämä testit tullaan jatkossa tekemään tutkimuksissa käytettäville materiaaleille.

Neutraaliakselin määrittäminen ei toteutunut tässä projektissa, koska kovuusmittaria ei ollut vielä käytettävissä. Myös nämä määrittäykset suoritetaan tulevaisuudessa projekteissa, kuten 1.9.2009 alkaneessa TEKES'in KuURak- projektissa (Tutkimus kuuma- valssattujen ultralujien rakenne- ja kulutusterästen käytettävyydestä).

3 Projektin tiedottaminen

3.1 SEMINAARIT JA JULKAISUT

Projektin tiedottaminen yrityksille on tehty www- sivujen, sekä projektin kotisivuille tehdyn Ekstranet- ympäristön kautta, jonne on koottu suomennettuja artikkeleita ferriittisten ruostumattomien terästen käyttökohteista, yhteensä 33 suomennettua dokumenttia.

Jalosärmä

"Tutkimus ruostumattomien terästen särmättävyydestä sekä konenäön soveltamisesta särmäystapahtuman mittaamiseen"

Jalosärmä-hankkeessa tutkitaan ruostumattomien terästen särmättävyyttä monipuolisin teknologisin kokein sekä tutkitaan särmättävyyden vaihtelun metalliopillisiä taustoja. Niinpä hankkeen ensisijaisina tavoitteina on

- määrittää valituille ruostumattomille teräslaaduille ja -lajeille soveltuvat särmäysparametrit haluttujen taivutuskulmien- ja säteiden aikaansaamiseksi
- kehittää särmäyskokeiden tulosten perusteella ohjeistus mittatarkan särmäyksen mahdollistamiseksi (matemaattinen malli ja parametritaulukko, jonka avulla kyetään ennustamaan syntyvä taivutuskulma ja -säde tunnettaessa materiaalin mekaaniset ominaisuudet ja käytettävät särmäystyökalut)
- edellä mainittujen tulosten avulla madaltaa ruostumattomia teräksiä särmäävien/käyttävien yritysten kynnystä siirtä austeniittisiä vakiolaatuja (AISI 304, 316) korvaavien terästen käyttöön
- tuottaa PK-sektorin yrityksille suoraan käytäntöön sovellettavaa tietoa uusien, edullisten / paremmin tiettyihin käyttötarkoituksiin soveltuvien austeniittisiä vakiolaatuja korvaavien ruostumattomien ohutlevyterästen käyttömahdollisuuksista ja näin edesauttaa yritysten kannattavuutta ja kilpailukykyä tiukentuvilla markkinoilla.

Hanketta rahoittaa Tekes ja sen budjetti on 219 000 €. Projektin aikataulu on 1.8.2008 - 31.12.2009 ja siihen osallistuu Outokummun lisäksi useita PK-sektorin ruostumattoman teräksen jatkojalostajia.

Lisätietoja antaa projektipäällikkö, DI Rauno Toppila.

Jalosärmä -projektin loppuseminaari 26.5.2010 Kemin Digipoloksen pääauditoriossa.

Jalosärmä-projektin [Extranet-sivut](#).

Kuva 16. Jalosärmä- projektin www-sivut

Outokumpu Tornio Worksin edustajan sekä materiaalin käytettävyyden tutkimusryhmän kanssa on pidetty yhteisiä palavereja johtoryhmän kokouksien lisäksi, joissa tapaututkimusten erityispiirteitä on selvitetty.

Materia 2010 seminaarissa 14.4.2010 Timo Kauppi piti esitelmän ”Ferriittisen ruostumattoman teräksen tapaustutkimus: käsienpesualtaan valmistaminen EN 1.4509 teräksestä”. /42/

Jalosärmän loppuseminaari pidettiin 26.5.2010 Kemissä, jossa käytiin läpi projektin tuloksia. Seminaarin esitelmät pitivät Rauno Toppila /30/ ja Timo Kauppi /31/ sekä Jari Larkiola VTT.

Projektin aikana kirjoitettiin myös julkaisu ferriittisistä ruostumattomista teräksestä, josta lyhennelmä /32/ ja varsinainen julkaisu /33/.

Yritysten käytössä oli projektin aikana ja edelleenkin Ekstranet sivut, jotka sisältävät yli kolmekymmentä dokumenttia ruostumattomista teräksestä. Sivut löytyvät osoitteesta <http://www.tokem.fi/?DeptID=14935>.

The screenshot shows the Ekstranet website interface. At the top, there is a navigation bar with links for 'HAKU', 'SIVUKARTTA', 'PALAUTE', and 'ENGLISH'. Below this is the logo for 'Kemi Tornion ammattikorkeakoulu'. A secondary navigation bar contains tabs for 'Etusivu', 'Opiskelu', 'Hakeminen', 'Tutkimus ja kehitys', 'Aikuiskoulutus', 'Esittely', and 'Yhteystiedot'. The main content area is titled 'Julkaisut, muut' and includes a sub-heading 'Takaisin Extranetin etusivulle'. On the left, there is a sidebar menu with categories like 'Ajankohtaista', 'Osaamisalueet', 'Elämykset ja kulttuuri', 'Hyvinvointi', 'Liiketoiminta ja yrittäjyys', 'Teollisuus', 'Palvelut', 'Hankkeet', 'Julkaisut', and 'Yhteydenotot'. The main content area displays a list of documents under the heading 'Liitetiedostot'. Each document entry includes the document name, format (PDF), size, upload date, and the uploader's name (Ylinen Mari).

Dokumentin nimi:	Formaatti	PDF	Tallennuspvm:	Tallentaja
Hydromuovaus 1	PDF	(2065 kb)	3.4.2009	Ylinen Mari
Hydromuovaus 2	PDF	(390 kb)	3.4.2009	Ylinen Mari
Hydromuovaus 3	PDF	(286 kb)	3.4.2009	Ylinen Mari
Hydromuovaus 4	PDF	(1814 kb)	3.4.2009	Ylinen Mari
Ruostumaton teräs maa- ja vesirakentamisessa 1	PDF	(606 kb)	3.4.2009	Ylinen Mari
Ruostumaton teräs maa- ja vesirakentamisessa 2	PDF	(314 kb)	3.4.2009	Ylinen Mari
Ruostumaton teräs yhdyskuntatekniikassa 1	PDF	(779 kb)	3.4.2009	Ylinen Mari

Kuva 17. Jalosärmä- projektin Ekstranet- sivustot

Ruostumattomien terälaatuojen hintakehitystä seurattiin CRU:n palvelun avulla, josta saatiin kuukausittainen raportti teräksen hintakehityksestä, palvelu on maksullinen ja löytyy osoitteesta: <http://www.cruonline.crugroup.com/>

3.2 ESITELMÄT

Projektin tärkein esitelmä pidettiin Ohutlevy 2010- päivillä 18.–19.3.2010 Porissa. Ensimmäisen päivän pääpuhujina toimivat Timo Kauppi ja Rauno Toppila, lisäksi illan verkostoitumis-tapahtumassa esiteltiin projektin tuloksia ja KTAMK:n toimintaa projekti- insinöörien Jukka Joutsenvaara ja Marko Ylitolva toimesta. Ohutlevypäivien 2010 esitelmät Timo Kauppi /27/ ja Rauno Toppila /28/ tehtiin osin yhteistyössä Outokumpu Tornin Worksin kanssa, ferriittisistä laaduista esitelmää laadittaessa käytettiin hyväksi Pasi Aspegrenin (Outokumpu Tornio Works) esitystä /37/.

4 Projektin talous ja resurssien käyttö

Projektin talous oli hieman jäljessä koko projektin toteuttamisen ajan verrattaessa alkuperäistä toteutusaikaa, budjetoituun kustannusseurantaan. Vuoden vaihteessa 2010 JoRy:ssä tehtiin päätös siitä, että tutkittaville materiaaleille on mahdollista ja perusteltua tehdä kolmipistetaivutuskokeita KTAMK:n Zwick-Röell vetokoneella. Projektille haettiin ja saatiin muutoksen kautta jatkoaikaa 30.6.2010 saakka.

Alla liitteenä taulukko viimeisestä kustannusseurannasta.

Kemi-Tornion ammattikorkeakoulu
Marja-Leena Miettinen

28.7.2010

lisäksi
500 euroa
tilintarkastus

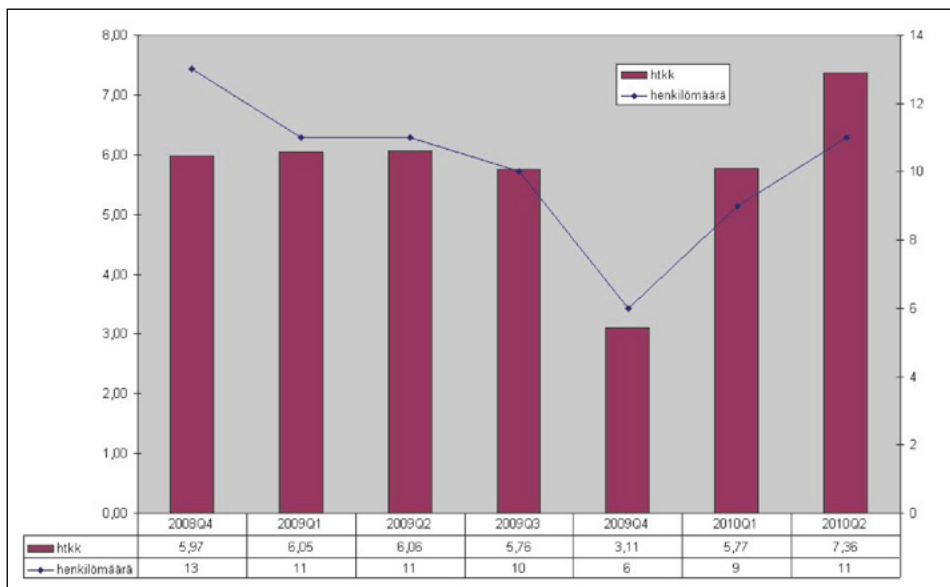
KUSTANNUSSEURANTA 1.8.2008 - 30.6.2010

Jalosärmä - Tutkimus ruostumattomien terästen särmättävyydestä 70085/08

	BUDJETTI	1.8.08-31.8.09 Kustannukset	1.9.-31.12.09 Kustannukset	1.1.-30.6.2010 Kustannukset	Kustannukset	yhteensä	Jäijellä
Palkat	125000	55192	14220	40136		109548	15452
Henkilöstösivukulut	45835	16315	9140	15892		41347	4488
Yleiskustannukset	21500	4757	1417	4949		11123	10377
Matkakustannukset	10000	3815	1029	3397		8241	1759
Aine- ja tarvikkeet	4000	2835	43	936		3814	186
Koneet ja laitteet							
Ostetut palvelut	13000	1361	8920	2973		13253	-253
				500		500	-500
Yhteensä	219335	84274	34769	68783		187826	31509

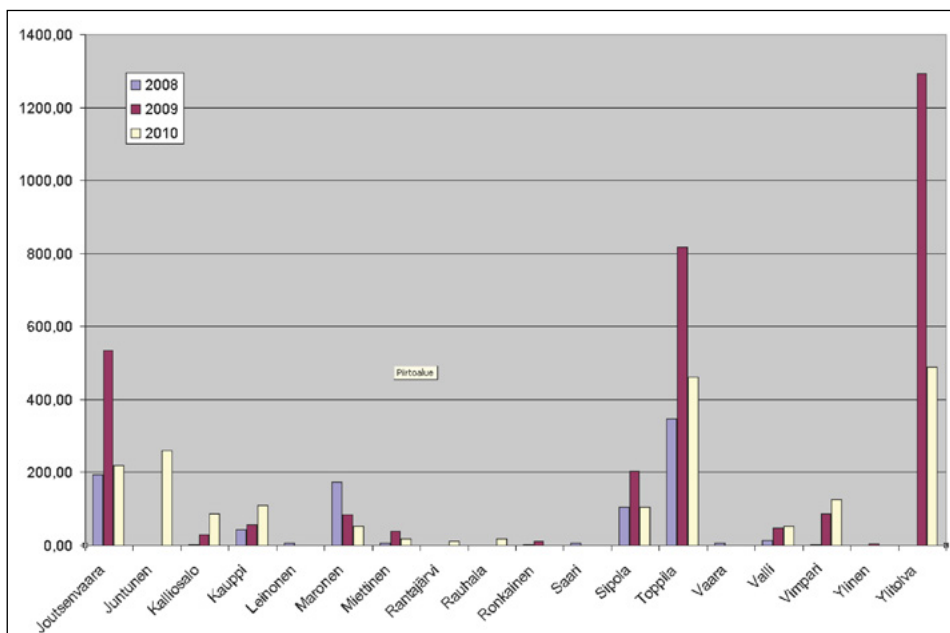
Taulukko 1. Projektin kustannusseuranta

Projektissa hyödynnettiin materiaalin käytettävyyden tutkimusryhmän lisäksi myös resursseja optisen mittaustekniikan tutkimusryhmästä (konenäkösovellus) sekä kunnossapidon tutkimusryhmästä (data-analysointi). Tarvittavat testikappaleet työstettiin Ammattiopisto Lappian resursseilla.



Kuva 18. projektin henkilömäärät ja ajankäytön jakauma projektin aikana

Projektissa työskenteli toteutuksen aikana yhteensä 18 henkilöä.



Kuva 19. Projektin henkilöstö ja tuntijakaumat projektin aikana

5 Tutkimustulokset

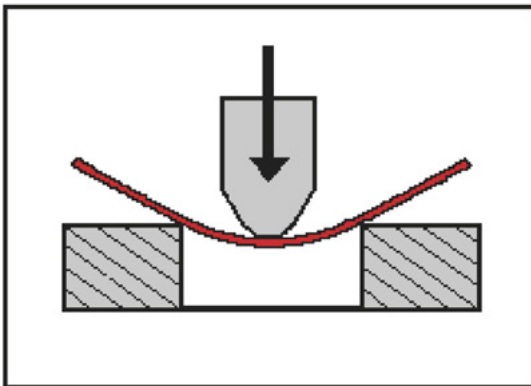
5.1 KIRJALLISUUSSELVITYS

Projektin aikana toteutettiin kirjallisuusselvityksiä ferriittisistä ruostumattomista teräksistä, elinkaarikustannuksista sekä särmättävyydestä. Tutkimus ruostumattomien EN 1.4301 ja EN 1.4509 terästen särmättävyydestä) osalta oli näistä laajin. Yleisesti toteutetun kirjallisuushaun (internet + julkiset lähteet) lisäksi tehtiin laajamittainen haku Outokumpu Oyj:n Tornion tutkimuskeskuksen tietokantoihin. Yleisimpinä hakusanoina käytettiin bending, springback ja stress-strain curve. Kirjallisuushaun tuloksena löydettiin paljon erilaisia hyvin käyttökelpoisia artikkeleita ja julkaisuja, joita pystyttiin hyödyntämään tutkimustyössä. Näistä mainittakoon tärkeimpänä Henna-Riikka Jussilan tekemä diplomityö aiheesta ruostumattoman teräksen takaisinjousto.

5.2 TAIVUTUSTESTAUS ILMAVÄLITAIVUTUKSESSA SEKÄ SIMULOINTI

5.2.1 Taivutustestaus ilmvälitaivutuksessa

Ilmavälitaivutustestien tarkoituksena oli selvittää vakiotaivutuksen vaatiman voiman vaihtelu eri materiaaleilla sekä eri alatyökalu geometrialla ts. aukon leveydellä. Kuvassa 20 on esitettyä ilmvälitaivutuksen periaate.

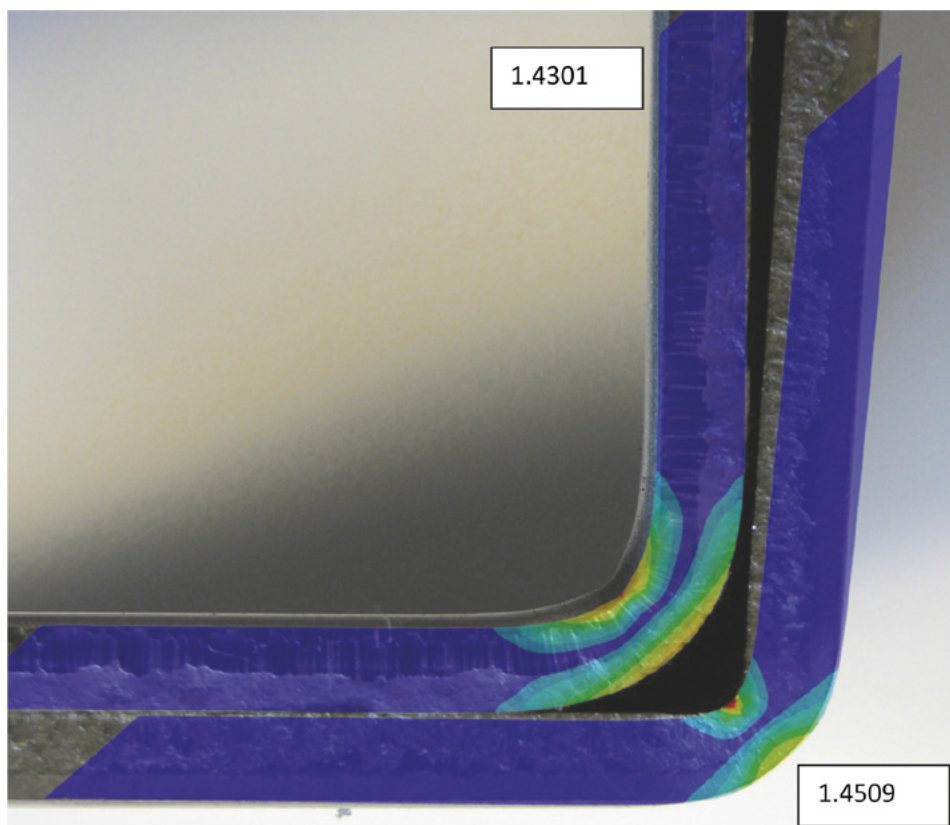


Kuva 20. Ilmvälitaivutuksen periaate

5.2.2 Simulointi

Simuloinnin tavoitteena oli todeta materiaalien välinen käyttäytymisero taivutuksessa, jossa osa materiaalista muokkautuu pysyvästi (=plastisoituu) ja osa jää palautuvan (=elastisen) muodonmuutoksen vaikutuksen piiriin. Taivutuksessa tapahtuvien muodonmuutosten vuoksi taipeseen muodostuu jäännösjännitystila, jonka elastinen osuus pyrkii taivuttamaan taivetta auki. Tätä ilmiötä nimitetään takaisinjoustoksi. Takaisinjouston suuruus määrää sen, kuinka paljon kappaletta täytyy taivuttaa yli halutusta kulmasta. Materiaalista ja varsinkin sen muokkauslujittumiskäyttäytymisestä riippuen takaisinjouston määrä vaihtelee. Tämä on yksi syy siihen, miksi esimerkiksi särmäyskoneiden materiaalipankkeja olisi syytä päivittää.

Simuloinnin tuloksena saatiin yksinkertaisella tapauksella visuaalinen ero samalla geometrisella mallilla käyttäen vetokokeen avulla saatavaa yksinkertaistettua materiaalmallia kummallekin testilaadulle. Samansuuntainen ero on havaittavissa myös taivutustestien perusteella saatavilla olevasta testausdatasta. Ferriittisen 1.4509 materiaalin käyttäytyminen ylä- ja alatyökalun välisellä alueella poikkeaa austeniittisestä 1.4301 materiaalista. Kuvassa 21 on esitettyä särmäytestien ja simulointien yhdistetyt



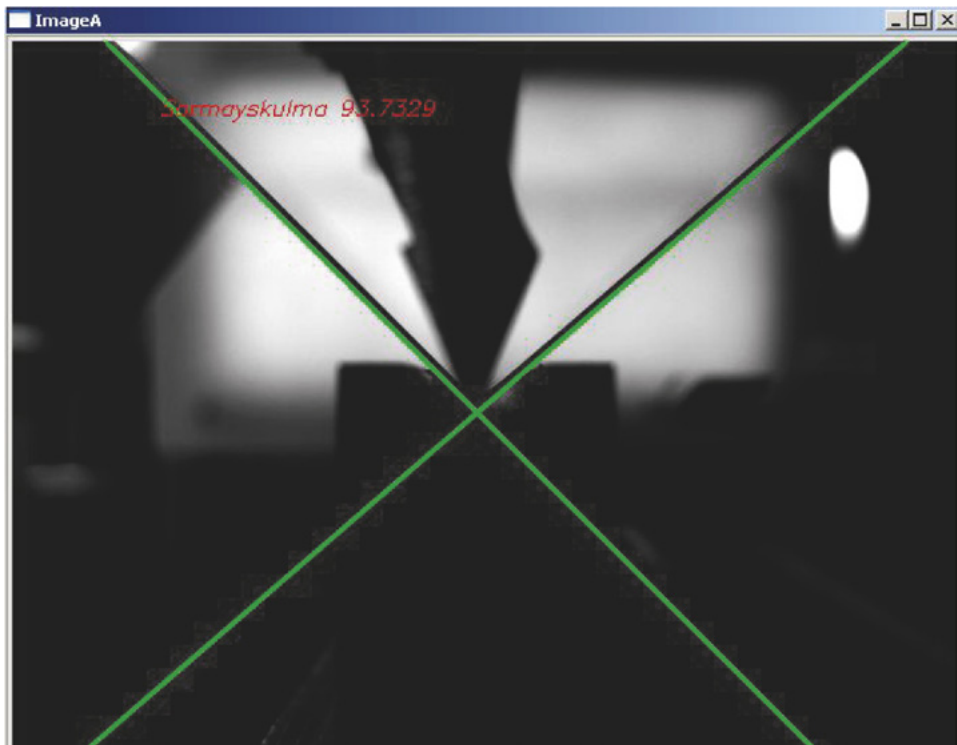
Kuva 21. Simuloinnin ja kokeen välinen yhteneväisyys

tulokset. Kuvassa huomioitavaa, että käytössä on erilainen skaala eri materiaaleilla. Simulointiin liittyvä testaus suoritettiin ANSYS Academic Teaching Introductory, Release 11.0 -ohjelmistolla, joka on myös käytössä opetuksessa. /43/

Projektin aikana simulointiin myös eri materiaaleista valmistettujen profiilien käyttäytymiseroja saman kuormituksen alaisuudessa. Simulointitestien käytänteet ja siinä käytetyt prosessit tullaan siirtämään opetuksen lähdemateriaaleiksi tuleville kursseille.

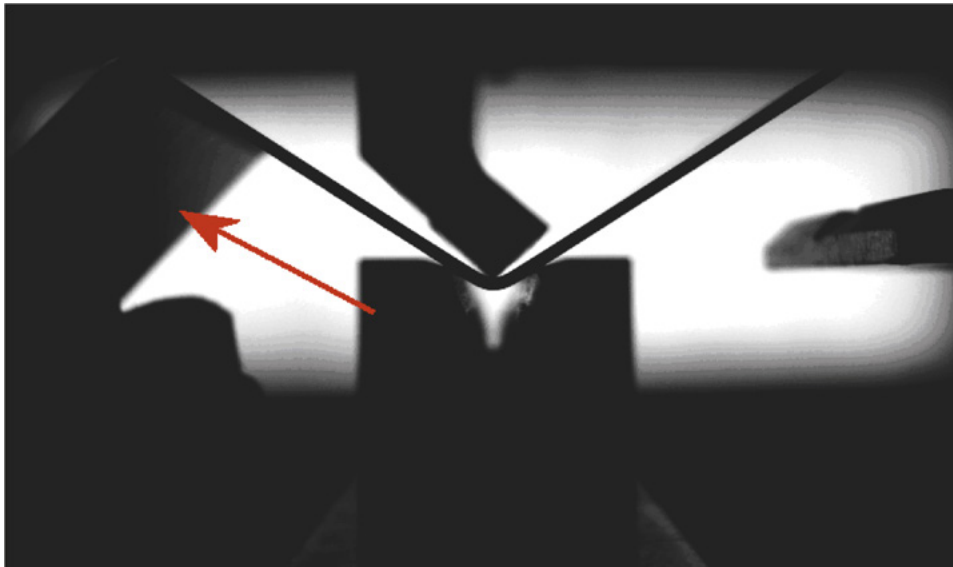
5.3 KONENÄKÖSOVELLUKSEN TULOS JA MUITA KAUPALLISIA RATKAISUJA KULMAMITTAUKSEEN

Konenäkösovelluksen kulmamittauksessa muodostettiin kuva särmäystapahtumasta taustavalon avulla. Tällöin kohde havaitaan mustana valkoista taustaa vasten. Särmäyskulma mitataan tunnistamalla kohteen reunat, joiden avulla mitataan kulma, kuten on esitetty kuvassa 22.



Kuva 22. Särmänmittaus kuvasta.

Kun testeissä särmättiin Z-mallisia kappaleita, käytettiin särmän sivun minimi mittana 100 mm. Mitä lyhyempi on särmättävän sivun pituus, sitä enemmän alkaa toisen särmän sivu varjostaa mittausta, kuten nähdään kuvasta 23. Tällöin särmäyskulman mittausta ei onnistu kehitetyllä konenäkösovelluksella.



Kuva 23. Z – särmäyksessä varjostava kohta.

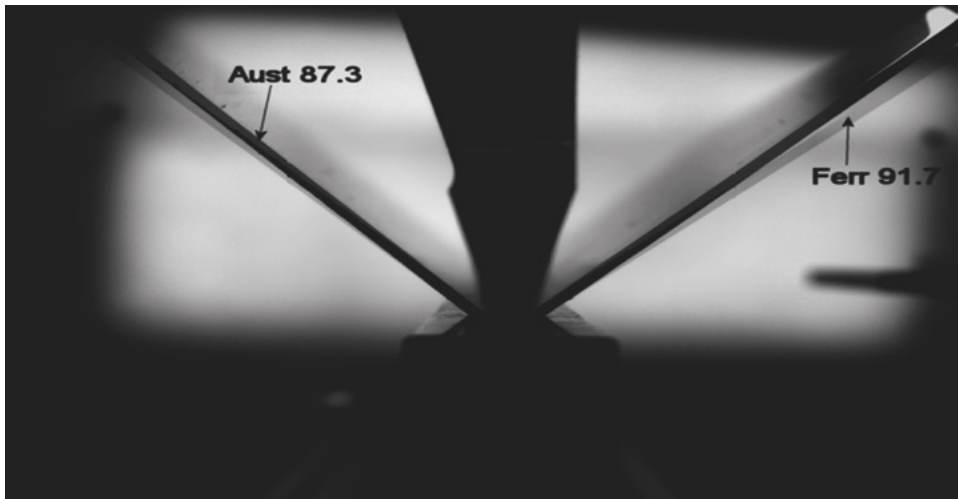
Konenäkösovelluksessa särmättäväkulma pyrittiin sijoittamaan mahdollisimman keskelle kuvaa. Kuva-alueen reunoilla sijaitsee yleensä voimakkaimmat optiikan aiheuttamat vääristymät, jotka voivat heikentää kulmamittauksen tarkkuutta.

Konenäkösovelluksen tarkkuutta arvioitiin vertailemalla konenäöllä saatuja loppukulmia manuaalisesti mitattuihin kulmiin. Mittaustarkkuuden arviointiin käytettiin testisarjaa, jossa 20 näytteeseen tehtiin Z-muotoinen särmäys eli yhteensä särmättiin ja mitattiin 40 kulmaa. Testissä käytettiin kahta eri teräslaatua EN 1.4301 ja EN 1.4509. Näytteiden koko oli 300 x 300 ja paksuus 1,5 mm. Alla olevassa taulukossa on testin tilastolliset tunnusluvut konenäön ja manuaalisen kulmamittauksen eroista.

Taulukko 2. Tilastolliset tunnusluvut manuaalisesti ja konenäöllä mitattujen kulmien eroista

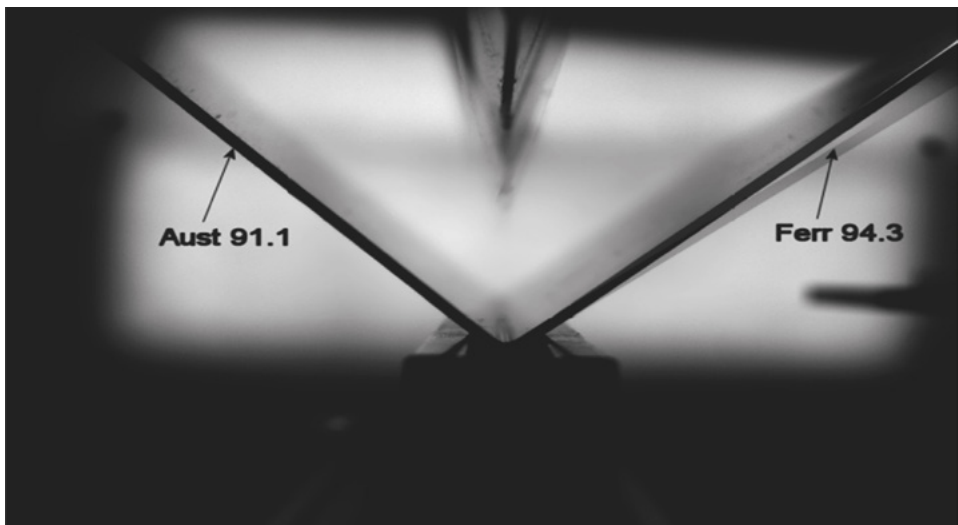
	Kulma 1	Kulma 2
Keskiarvo	-0.6	-0.4
Keskihajonta	0.3	0.3
Maksimi	-0.1	0.2
Minimi	-1.1	-1.2
Vaihteluväli	1.0	1.4

Kuvassa 24 on esitettyä päällekkäin konenäkösovelluksella kuvatut särmäysta-
pahtumasta ylätyökalun ollessa alimassa kohdassa työliikkeen aikana. Kuvassa vaa-
leampi reuna on ferriittisen 1.4509:n ja ylempi tummempi on austeniittisen 1.4301:n.



Kuva 24. Austeniittisen 1.4301 ja ferriittisen 1.4509 kulmat työkalun ollessa alimmillaan

Vastaavasti kuvassa 25 on esitettyä samat näytteet takaisinjoustaneessa tilassa. Va-
semmanpuoleiset reunat kuvassa ovat sattumalta samassa kohdassa, joten kokonais-
kulmaero lopputuotteessa on helposti havaittavissa austeniittisen 1.4301 ja ferriittisen
1.4509 välillä.



Kuva 25. Austeniittisen 1.4301 ja ferriittisen 1.4509 kulmat takaisinjouston jälkeen

Projektissa kehitetty konenäkösovellus perustuu ns. kosketuksettomaan kulmamittaukseen. Mittaus tapahtuu kameran avulla, jolloin mitattavaan kohteeseen ei tarvitse koskea. Muita kaupallisia särmäyskulman mittaavia laitteita on esitetty raportissa (JJo tekninen raportti2: Svensk Verktygsteknik: in kulmamittauslaitteen arviointi). Siellä on esitetty myös särmänsä kulman mittaussaitteita, joissa mitattavaan kohteeseen täytyy olla kontakti, jotta mittaus onnistuu.

5.4 SÄRMÄYSTESTAUS

Todellisen takaisinjouston määrän arviointiin käytettiin hankkeen aikana tehtyä konenäkösovellusta. Käytännössä takaisinjouston muunlainen arviointi olisi ollut hyvin hankalaa, koska silloin työliikettä olisi joutunut silloin hidastamaan tai pysäyttämään se yläterän alakuolo-kohtaan, jolloin särmäyksestä olisi muodostunut epätyypillinen verrattuna normaaliin konepajatoimintaan.

Särmän pinnankarheuden tutkiminen, laserprofilometrisin mittauksin, ei tässä tapauksessa antanut tutkimuksellista lisäarvoa mittalaitteiston toiminnallisuuden vuoksi. Laite pystyi mittaamaan vain hyvin pienen pinta-alan ja mitattavan pinnan täytyi olla suora. Standardiin nojautuen särmän laadun tarkastelu ilman optisia suurenväliseiteitä antoi kuitenkin hyväksyttävän tuloksen, sillä kummankaan 1.4301:en eikä 1.4509:en särmässä ollut selviä murtumia.

Kirjallisuusselvityksen perusteella käytettyjen takaisinjouston kaavojen käyttökelpoisuutta verrattiin testien perusteella saatuihin tuloksiin. Koneäöllä saatujen todellisten arvojen ja nykyisten kaavojen välillä ei näyttänyt olevan selvää yhteyttä testatuilla materiaaleilla. Kaavojen muuttujista riippuen tulokset takaisinjouston määrästä jäivät joko reilusti alle tai reilusti yli todellisten arvojen.

5.5 VETOKOKEIDEN TULOKSET

Vetokokein varmennettiin, että materiaalien ominaisuudet vastaavat niille asetettuja standardeja /44/.

5.6 MUOVATTAVUUS

5.6.1 FLD

Hankkeessa olleelle materiaalille 1.4509 määritettiin myös rajamuovattavuuskäyrä Hämeen ammattikorkeakoulun Ohutlevykeskuksessa.

5.6.2 Lävistys

Testattu yrityksessä (kuvat Ocotec: Haukiputaan tehdas) /36/

5.6.3 Litistys

Projektityössä (Tutkimus ruostumattomien EN 1.4301 ja EN 1.4509 terästen särmättävyydestä), tutkittiin ruostumattomien litistystä eli taivutusta 180 asteen kulmaan. Standardissa on esitetty, että vertailun tulisi tapahtua silmänmääräisesti ja näin myös toimittiin. Pääpaino oli asetettu sille, että kestävätkö valitut materiaalit murtumatta 180 asteen taivutusta. Toisekseen haluttiin saada selville, miten valssaussuunta vaikuttaa murtuman mahdolliseen syntymiseen /45/.

5.6 OLOSUHDETESTAUS

Yrityskohtaisissa tapaustutkimuksissa teetettiin kaksi erillistä testausta TopTEsterin laboratoriossa Rovaniemellä. /5/, /34/

5.7 ASIANTUNTIJAVERKOSTOITUMISEN/YHTEISTYÖN TULOKSET

Asiantuntijaverkostoitumisen osalta verkostoiduttiin mm. Oulun yliopiston Eteläisen instituutin tutkimusryhmän, Hämeenlinnan ammattikorkeakoulun, Svensk Verktygsteknikin (Ruotsi, Luulaja), RWTH (Saksa Aachen), NTNU/SIMLAB (Norja, Trondheim) kanssa.

6 Johtopäätökset

6.1 KIRJALLISUUSSELVITYKSEN JOHTOPÄÄTÖKSET (MYJ)

Kirjallisuudessa ferriittisiä ruostumattomia teräksiä on esiintynyt pitkään, mutta hankkeessa kyseessä olevista laaduista ei ollut juurikaan tutkimuksia, joten julkisia tutkimustuloksia muovattavuudesta ei ole paljoa tarjolla. Kirjallisuusselvityksen tarkoituksena oli myös kartoittaa takaisinjoustoön käytettävien lasku- tai arviointikaavojen. Suomalaisissa opinnäytetöissä tuli esille muutamia kaavoja, joita testattiin todellisten mittaustulosten arvoilla, muun muassa vetokokeesta saatavia myötö- ja murto-rajvoja. Laskukaavojen perusteella saatujen tulosten käyttökelpoisuutta voi arvella, koska kaavat, joilla takaisinjousto arvioitiin antavat kummatkin mittaustuloksista poikkeavia arvoja / 46/

Myöskään kirjallisuudessa esiintyvien takaisinjousto enustavien laskukaavojen paikkaansa pitävyyttä on syytä epäillä. Kokeilun ja testauksen tuloksena todettiin niiden olevan riittämättömiä, ja etteivät ne sinällään yksinään sovellu takaisinjousto enustamiseen. Särämästilanteessa on niin monta eri muuttujaa materiaaliominaisuudet, työkaluparametrit ja niin edelleen, jotka vaikuttavat takaisinjoustoön, että niiden enustamiseen soveltuvan laskukaavan täytyy ottaa huomioon kaikki mahdolliset suuresti vaikuttavat muuttajat. Nykyisellään ne eivät toimi niin.

6.2 TAIVUTUSTESTIEN TULOKSET ILMAVÄLITAIVUTUKSESSA

Vetokoneella tehtyjen testi perusteella havaittiin, että ferriittisen 1.4509 laadun tarvitsema taivutusvoima oli noin 20-50% korkeampi (materiaalin vahvuus), kuin mitä austeniittisella 1.4301 materiaalilla. Käytännössä tämän testin tulos perustuu todennäköisemmin siihen, että suuri osa särämästä pysyy elastisella alueella, jolloin materiaalin alkuperäinen myötöraja vaikuttaa enemmän kuin muokkauslujittumisen mukanaan tuoma lujuuden kasvu. 1.4301 lujuus ylittää 1.4509:en lujuuden muokkauslujittumisen vuoksi jo suhteellisen matalilla muokkausasteilla, joten ilmiö korostuu materiaalia paljon muokkaavilla valmistusmenetelmillä, kuten esimerkiksi syvävedossa.

6.3 SIMULOINTI

Verrattaessa simulointeja todellisiin testituloksiin havaitaan selvä käyttäytymisero alatyökalan välisessä v-aukossa ideaaliseen tilanteeseen nähden. Käytännössä tämä näyttäisi johtavan siihen, että kyseessä olevaa ferriittistä laatua täytyisi särmätä siten, että paininta painetaan hieman syvemmälle kuin vastaavalla austeniittisella laadulla, jotta päästäisiin samaan loppukulmaan. Ferriittisellä 1.4509:llä tuotteen särmän muodostuminen pienemmälle säteelle on myös seurausta samasta asiasta.

Simuloinnin perusteella takaisinjouaston määrä on austeniittisella 1.4301 hieman isompi, johtuen korkeammasta muokkauslujittumisesta ja siitä aiheutuvasta isomasta palautuvasta venymästä särmässä.

6.4 KONENÄKÖSOVELLUKSEN JOHTOPÄÄTÖKSET

Kehitetty konenäkösovellus soveltuu pienten noin 300 x 300 mm kohteiden mittaamiseen, joissa kappaleessa mahdollisesti olevat muut särmät eivät haittaa kulman mittausta. Sovellus toimii todennäköisesti isommillakin kappaleilla, jos kappaleen reunasta saadaan luotettava havainto. Koska konenäkösovelluksella kuvataan koko särmäystapahtuma, saadaan mitattua loppukulman ohella myös takaisinjouaston suuruus. Sovelluksella päästiin 0,6 asteen kulman mittaustarkkuuteen, kun tuloksia verrattiin manuaalisesti mitattuihin kulmiin. Kuvauksien tulosten perusteella havaittiin, että laatujen erilaiset kulmat samanlaisessa tuotteessa johtuvat materiaalin käyttäytymiseroista työkalujen välisessä tilassa ja varsinkin ylätökaluun liittyvässä pyöristyssäteessä. Käytännön ero särmien välillä on nähtävissä hyvin kuvassa 2.

Lisäksi on tehty vertailua takaisinjouaston mittaustarkkuudesta Oulun yliopiston videon pysäytyskuvan ja Kemi- Tornion ammattikorkeakoulun toteuttaman konenäköjärjestelmän välillä. Nämä tulokset raportoidaan osana ”tutkimus Kuumavalsattujen Ultralujien rakenne- ja kulutusterästen käytettävyydestä” (KuURak)- projektia.

6.5 SÄRMÄYSTEESTIEN TULOKSET

Konenäöllä kuvattujen särmien perusteella voidaan todeta, että ferriittinen 1.4509 on hyvin särmättävää, mutta se käyttäytyminen on hieman erilainen kuin austeniittisen 1.4301:en. Tästä johtuen ylätökalua on painettava hieman syvemmälle särmättäessä 1.4509:iä verrattuna 1.4301:een. Testikuvaukset COASTONE:lla varmistivat sen, että särmäyskoneen ohjauksessa tai työkalun liikkeen varmennuksessa ei ollut epävarmuustekijöitä. Tuloksien perusteella varmistui myös tuotteiden kulmaero sekä särmäyksen alakohdassa että takaisinjoustaneessa tilassa. Teorian mukaan austeniittisen 1.4301 takaisinjousto on hieman isompi kuin ferriittisen 1.4509:n materiaalien erilaisen muokkauslujittumisen vuoksi.

Tulosten valossa särmäyslaitteiden sisältämät kirjastot, jotka perustuvat 1.4301 laatuun tai vastaavasti esimerkiksi haponkestävään 1.4404 laatuun, eivät sovellu suoraan

ferriittisen särmäykseen, koska kyseessä on kuitenkin materiaaliominaisuuksiltaan ja -käyttäytymiseltään erilainen kuin edellä mainitut materiaalit. Toisaalta muutoksen tekeminen materiaalitietopankkeihin olisi käytännössä korjauskertoimen etsimistä olemassa olevalle särmäystaulukolle, kuten esimerkiksi Amada:n särmäyslaitteissa käytössä oleville tiedostoille.

Pinnankarheustutkimuksen osalta projekteissa keskityttiin lähinnä visuaaliseen puoleen eri materiaalien kesken. Saadut Ra-arvot eivät ole mitenkään eksakteja, koska otanta ei perustunut tilastollisuuteen, vaan muutamaan koekappaleeseen.

6.6 VETOKOKEIDEN TULOKSET

Materiaaliominaisuuksien varmentaminen vetokoneella sekä tuloksien taulukoiminen on havaittu käytännöksi, jota jatketaan tulevaisuudessa muissakin materiaalin käytettävyyteen liittyvissä projekteissa., näin varmennetaan saatujen testimateriaalien oikeellisuus /44/

6.7 MUOVATTAVUUS

6.7.1 FLD

FLD- käyrät määriteltiin vain yhdelle materiaalille, osana Vemta Oy:n tapaustutkimusta. Tämän perusteella todettiin EN 1.4509 olevan erinomainen materiaali juuri syvämuovaukseen /12/.

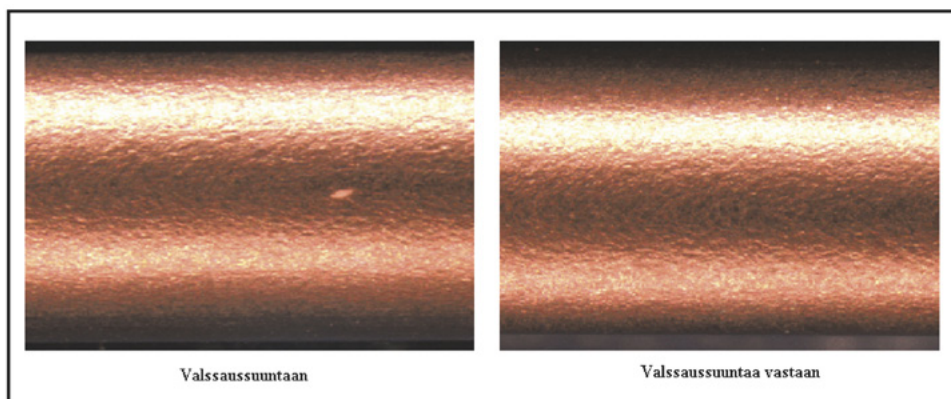
Muovattavuuden tutkimusta jatketaan TEKES EAKR- rahoitteisessa ASA- hankkeessa (Advanced Strain Analysis) 1.6.2010–30.4.2010.

6.7.2 Lävistys

1.4509 on helposti lävistettävää ja se käyttäytyy lähes samoin kuin normaalit hiiliteräksset lävistettäessä. Lävistettävyyttä testattiin Ocotec Oy:ssä Haukiputaan tehtaalla.

6.7.3 Litistys

Loppupäätelmäksi saatiin, että niin ferriittiset kuin austeniittisetkin kestävätkin hyvin 180 asteen taivutusta materiaalivahvuuksien ollessa pieniä eikä valssaussuunnalla ole juurikaan vaikutusta. Tutkimusraportti liitteessä /45/.



Kuva 26. Materiaalin EN 1.4301 taive valssaussuuntaan ja vastaan

6.8 OLOSUHDETESTAUS

Olosuhdetestauksien tulokset /5/ ja /34/ osoittivat lähinnä sen, että olosuhdetestin avulla voi tehdä vain vertailevia tutkimuksia projektissa käytettyjen testien suhteen. Riittävän ”ankarilla” testausparametreilla kaikki materiaalit kärsivät korroosiosta. Olosuhdetestauksissa havaittiin kuitenkin, että ferriittistä laatua käytettäessä korostuu esimerkiksi hitsaussauman viimeistely, hitsin lämmöntuonti ja erityisen huolellinen peittäminen. Ferriittisten laatuojen hitsauksen tutkimusta jatketaan TEKES/EAKR-rahoitteisessa Jalosauma (tutkimus ferriittisten ruostumattomien terästen käytettävyydestä – hitsattavuus).

Tätä raporttia kirjoitettaessa olosuhdetestausta voidaan tehdä myös KTAMK:n oman tutkimuslaboratorion tiloissa.

6.9 ASIANTUNTIJAVERKOSTOITUMISEN/ YHTEISTYÖN TULOKSET

Oulun yliopiston Oulun eteläisen instituutin kanssa perehdyttiin heidän tekemiinsä särmäystutkimuksiin ja Jalosärmä- projektin aikana alkanut yhteistyö jatkuu TEKES/EAKR- rahoitteisessa KuURAK- (tutkimus Kuumavalssattujen Ultralujien kulutus- ja rakenneterästen käytettävyydestä).

Hämeenlinnan ammattikorkeakoulun kanssa määriteltiin rajamuovattavuutta (FLC) EN 1.4509 materiaalille. Tutkimusyhteistyö HAMK:in kanssa jatkuu TEKES/EAKR- rahoitteisessa ASA- Advanced Strain Analysisi) projektissa.

RWTH (Rheinisch- Westfälische Technische Hochschule, Aachen) kanssa tehtiin muovattavuuden laitetestausta 3 mm:n 1.4016 materiaalille. Saksaan on oltu yhteydessä Jalosärmä- projektin päättymisen jälkeenkin ja tulevaisuudessa tutkimusta pyritään jatkamaan muovattavuuden osalta.

Norjan teknillinen yliopisto NTNU / Simlab- laboratorion vierailulla tutustuttiin organisaatioon ja lähinnä muovattavuuden tutkimusryhmiin. Materiaalin tutkimus-

ryhmän on saanut projektin jälkeenkin kutsuja NTNU:ssa järjestettäviin seminaareihin, mutta merkittävämpää yhteistyötä ei ole ollut.

Kemi-Tornion ammattikorkeakoulu kuuluu nyt Teknologiateollisuus ry:n Ohutlevy tuotteet toimialaryhmään sekä Ohutlevy-lehden toimitukseen, johtuen Jalosärmä-projektin esityksistä Ohutlevypäivät 2010 seminaarissa Porissa.

7 Ohjausryhmän kommentit projektin toteutumisesta ja jatkotoimet

Ohjausryhmän kommentteja projektin toteutuksesta kysyttiin sekä sähköpostilla, että koostetusti viimeisessä JoRy:n kokouksessa.

Tiedollisesti projekti oli vastannut hyvin odotuksia, koska ferriittisistä laaduista ei ennakolta ole ollut tietoa. Yrityskohtaiset tapaustutkimukset on saatettu läpi hyvin, joskin myös yritysten oma aktiivisuus ja ennakkosuunnittelu vaikuttivat saatuun lopputulokseen ja hyötyyn.

Tutkimuksen osalta saatiin vastaukset lähes kaikkiin asetettuihin työpaketteihin ja tämän projektin aikana havaittuja uusia tutkimusaiheita on jatkettu TEKES / EAKR- projekteissa edelleen.

Jalosärmä- projekti on saanut julkisuutta mm. Ohutlevypäivillä, jonka kautta Kemi-Tornion ammattikorkeakoulu on liittynyt Teknologiateollisuus ry:n Ohutlevytuotteet-toimialaryhmän jäseneksi ja lisäksi osallistuu Ohutlevy- lehden toimittamiseen.

7.1 JATKOPROJEKTIT

KuURak

Tutkimus Kuumavalssattujen Ultralujien rakenne- ja kulusterästen käytettävyydestä (TEKES/EAKR) 2009 - 2012

Jalosauma

Tutkimus ferriittisten ruostumattomien terästen käytettävyydestä - hitsattavuus (TEKES/EAKR) 2010 - 2012

ASA

Advanced Strain Analysis (TEKES/EAKR) 2010 - 2012

8 Lähteet

- /1/ Ylitolva Marko, ”Tutkimus ruostumattomien EN 1.4301 ja EN 1.4509 terästen särmättävyydestä” tekninen raportti KT-AMK, 2009, 52 s.
- /2/ Marokhonov Dmitry, ”Konenäköön perustuvan takaisinjoustop mittausjärjestelmän suunnittelu ja toteutus”, tekninen raportti KT-AMK (ohjelmistotekniikka), 2009, 41 s.
- /3/ Eskola Laura, ”Terästen elinkaarien kustannusvertailua”, tekninen raportti, KT-AMK, 2010, 54 s.
- /4/ Toppila Rauno, Kauppi Timo ”Ferriittiset ruostumattomat teräkset”, kirjallisuusselvitys” KT-AMK, työpapereita sarja E 1/2010, 17 s.
- /5/ Toptester Oy, ”Toptester_Report_COR_Kemi_Tornion_AMK_091021_01, testi-raportti 2009.
- /6/ Joutsenvaara Jukka, Ylitolva Marko, 090227_MJylo1JJ001_Jätesäiliö_Betamet, työraportti, 2009.
- /7/ ToptesterOy,Toptester_Report_COR_Kemi_Tornion_AMK_090526_01”, testi-raportti, 2009.
- /8/ Toppila Rauno, Kalliosalo Heidi, Joutsenvaara Jukka ”090303 testiraporttiRTo_01v01 Leinolot 2009”, Työraportti, 2009.
- /9/ Sipola Jani, Maronen Juha 100518_JSiJMar03 Loppuraportti Konenäkö Jalo-Särmä2, työraportti 2010.
- /10/ Joutsenvaara Jukka, 081029JJ002Jalosärmä SVTekin kulmamittauslaite, työ-raportti 2008.
- /11/ Tasala Sari, Hendriksson Katri, Haapsaari Juho, ”Elinkaariarviointi” Erikoistyö KT-AMK 2010.
- /12/ Hiljanen Johanna, ” 2010-5 Rajamuovattavuusmääritys ruostumattomalle teräkselle 1.4509, Testiraportti Hämeen ammattikorkeakoulu, HAMK, 2010.
- /13/ Ylitolva Marko, Kauppi Timo, ”100509Mylo4TKao2 Vapaataivutuksen testaaminen, Työraportti, 2010.
- /14/ Joutsenvaara Jukka, ” 090107 JTS-JJ003HkKao1-1mm&2.8mm testiraportti, testi-raportti 2009.
- /15/ Joutsenvaara Jukka, ” 090107 JTS-JJ003HkKao1-1mm&2.8mm testiraportti, testi-raportti 2009.
- /16/ Ylitolva Marko ” 100108 Tulokset ja kuvat särmistä Mjy”, työraportti 2010

- /17/ Ylitolva Marko, Kalliosalo Heidi ”100210 Tulokset ja kuvat särmistä Mjy Hka 04, työraportti 2010.
- /18/ Ylitolva Marko, Joutsenvaara Jukka ”Särmäyksen kirjallisuusselvitys” työraportti 2009.
- /19/ Ylitolva Marko ” 100302 Kolmipistetaivutukset Mjy” tekninen raportti 2010.
- /20/ Ylitolva Marko, ” 030709 MJy Särmäyksen lisätestit”, työraportti 2009.
- /21/ Ylitolva Marko, ” 081009 Ocotecin testit”, testiraportti 2009.
- /22/ Ylitolva Marko, ” 091020 Vapaataivutuksen testaaminen Myl 04”, testiraportti 2010
- /23/ 090304_HKa_Jalosärmä_leinolat_VRa_muokkaama.xls
- /24/ 090303_testiraportti_RTo_01_v01_Leinolat 2009.doc
- /25/ 2010-5 Rajamuovattavuusmääritys ruostumattomalle teräkselle 1.4509.pdf
- /26/ Taivutuskokeet_ferr_RST.xlsx
- /27/ 100305_TKa01_Ohutlevypäivät 2010_esitys.ppt
- /28/ 100305_RTo01_Ohutlevypäivät 2010_esitys.ppt
- /29/ 100617_CoastOneSarmaystulokset.xls
- /30/ 100524_RTo09_Jalosärmä_loppuseminaari_2010_esitys.ppt
- /31/ 100523_TKa01_Jalosärmä_loppuseminaari_esitys.ppt
- /32/ 091008_Ferriittiset ruostumattomat teräkset_RT001.ppt
- /33/ Toppila_E_1_2010[1].pdf
- /34/ Toptester_Report_COR_Kemi_Tornion_AMK_091021_01.doc
- /35/ TestPlan_COR_091021.doc
- /36/ 090807__OCOTEC_lävistettävyyys_raportti_vko 32.doc
- /37/ Ferriittiset PAs.ppt
- /38/ FerriittistenRuostumattomienTerastenHitsaus.pdf
- /39/ Tulokset ja kuvat särmistä.doc
- /40/ 100509_Mylo4TKa02_Vapaataivutuksen_testaaminen.doc
- /41/ LCA kirjallisuusselvitys.pdf
- /42/ 100414_Materia_2010_TKa01_esitys[1].pdf
- /43/ ANSYS® Academic Teaching Introductory, Release 11.0, ANSYS, Inc.
- /44/ 100804_PJu_Jalosärmä_Vetokokeeto1
- /45/ 081219_JMar_Muistio_taiutus180
- /46/ 081230_JJ001_takaisinjoustoteoriat

Jalosärmä-projektin motiivina oli austeniittisten ruostumattomien terästen korkea hinta, joka johtuu lähinnä nikkelin korkeasta hinnasta. Heräsi globaali tarve etsiä korvaavia teräksiä, jotka olisivat kustannustehokkaampia ja joiden hinta pysyisi stabiilimpana seosaineiden hintakehityksestä riippumatta. Ratkaisuksi löydettiin ferriittiset ruostumattomat teräkset, joihin nikkeliä ei ole seostettu lainkaan.

Ferriittisten ruostumattomien teräksien osuus on noin 20–25% ruostumattoman teräksen kokonaiskulutuksesta. Käyttö on kuitenkin keskittynyt harvoin sovelluksiin (pesukoneen rummut, tiskialtaat, autojen pakoputkistot) ja teräslajeja on ollut vähän (AISI 430, 444, 409, EN 1,4003). Tämän vuoksi niiden käyttö austeniittisia lajeja korvaavina teräksinä on ollut vähäistä. Lisäksi niiden käytettävyydestä, särmättävyyden ja muovattavuuden osalta, oli vain vähän tietoa saatavilla. Projektin tarkoituksena oli perehtyä muun muassa konepajakäytettävyyden varmentamiseen, levittää alkuvaiheen tietoa osallistujayrityksille ja lopuksi koota kaikkien saataville tietopakettit tutkimuskohteista.

Lisäksi Outokummun strateginen päätös ferriittisten laatuojen kehittämistä ja valmistamisesta loi tarpeen erityisesti soveltavalle tutkimukselle, jonka olennainen osa tulisi olemaan ferriittisten laatuojen käytettävyyden testaus todellisissa särmätyissä tuotteissa.

Jalosärmä-projekti toteutettiin 1.9.2007–30.6.2010. Rahoittajina toimivat TEKES ja EAKR. Projektiin osallistui seitsemän pk-yritystä Kemi-Tornion ja Oulun alueelta, yksi yritys Joensuusta ja yksi Vaasasta. Projektin työpanoksesta vastasivat ammattikorkeakoulun materiaalin käytettävyyden ja optisen mittaustekniikan tutkijat.



LAPIN AMK

Lapland University of Applied Sciences

www.lapinamk.fi