

TEEMA: DIMECC - Digitalisaatio, hitsatut rakenteet ja materiaalitekniikka



Suomen
Hitsausteknillinen
Yhdistys r.y.

HITSAUS TEKNIKKÄ

1/2017

3M Science.
Applied to Life.™

Koe enemmän värisävyjä ja kontrastia

3M Speedglas™ Automaattihitsauslasi 9100XXi

- Auto-ON toiminto
- Parannettu optiikka
- Uusi muotoilu
- Hiontatila
- Muistitila
- Uusi käyttöliittymä

Sövi esittely 3M-suojainasiantuntijan kanssa.
20 nopeimmalle esittelyyn sopineelle tarjoamme
3M Hitsauskupuosojaimet!

Söita (09) 5252 605 tai jätä yhteystietosi:
www.3m-kampanjat.fi/Speedglas

Suomen 3M Oy
Työsuojelutuotteet
www.3m.fi/suojaimet

Speedglas™



GENIE® kaasupullo.

Parempi työympäristö.

GENIE® kaasupullo on rakenteeltaan ainutlaatuinen, kevyt ja tukeva kaasupullo. Pyörällinen kuljetusalusta ja teleskooppikahva tekevät GENIE® kaasupullon siirtelystä helppoa. Ei enää raskaiden teräspullojen kantamista.

Pullo sisältää n. 45 % enemmän kaasua 300 barin täyttöpaineen ansiosta. Lisäksi kätevä digitaalinen näyttö kertoo työsi kannalta hyödyllistä tietoa.

GENIE® kaasupullossa on saatavilla argonia, typpeä ja MISON® suojaakaasuja.



Kevyt kaasupullo.
300 bar – enemmän kaasua



Älykäs
digitaalinen näyttö



Helposti
siirreltävässä

www.aga.fi/GENIE



A Member of
The Linde Group

AGA
GENIE®

A Member of
The Linde Group

AGA

Hitsaustekniikka-lehti kiittää
**Markku Heinoa, Kai Syrjälää ja
Mika Siréniä** DIMECC -osuuden
koostamisesta.



1/2017

69. vuosikerta
ISSN 0437-6056

Julkaisija - Publisher

Suomen Hitsausteknillinen Yhdistys r.y.
Finlands Svtstekniska Förening r.f.
The Welding Society of Finland
puh. (09) 773 2199
www.hitsaus.net

Toimitus - Editorial Staff

Päätoimittaja - Editor in Chief
Juha Lukkari
puh. 0500 414 045
juha.lukkari@shy.inet.fi

Toimitussihteeri - Editorial assistant

Angelica Emeléus
puh. (09) 773 2199 tai 050 373 9559
angelica.emeleus@shy.inet.fi

Toimituskunta:

Mikko Aarnio, Jyrki Honkanen,
Olli Kortelainen, Jouko Lassila,
Eero Nykänen, Jukka Setälä, Mika Sirén,
Juha Kauppila, Reetta Verho,
Juha Lukkari, Angelica Emeléus

Toimisto - Office

Mäkelänkatu 36 A 2
00510 HELSINKI
Puh. (09) 773 2199

Ilmoitukset - Advertisements

Elina Tenhunen/T:mi Petteri Pankkonen
puh. 040 779 9653 tai 040 504 6774
elina.tenhunen@pp-marketing.fi

Osoitteenmuutokset

angelica.emeleus@shy.inet.fi

Kirjapaino - Printers

Oriveden Kirjapaino
Oriveden Sanomalehti Osakeyhtiö
PL 33
35301 Orivesi
puh. (03) 358 9500
Telefax (03) 358 9535
tuotanto@orivedenkirjapaino.fi

Levikki - Circulation 3400



Member of The International
Institute of Welding

Kukin kirjoittaja vastaa itse artikkelinsa
sisällöstä eikä Hitsaustekniikka-lehdellä
ole mitään vastuuta siitä. Lehden aineisto
voidaan julkaista uudelleen verkossa.

HITSAUS

TEKNIikka

TEEMA: DIMECC - Digitalisaatio, hitsatut rakenteet ja materiaalitekniikka

Vain tuottavuus luo digiajan työpaikat – DIMECC on teollisuuden vastaus digitalisaatioon	2
<i>Harri Kulmala</i>	
DIMECC MANU-ohjelman projektien esittely	4
<i>Kai Syrjälä</i>	
Sovelluslähtöinen materiaalitutkimus uudistaa metalli- ja koneteollisuutta	6
<i>Markku Heino</i>	
Protolabin miehistönkuljetusajoneuvo	8
<i>Riku Neuvonen</i>	
Lujat ja ohuet materiaalit keventävät risteilylaivan rakenteita	11
<i>Ari Niemelä, Antti Itävuori, Heikki Remes ja Jani Romanoff</i>	
Nopeutta tuotekehitysprosessiin digitaalisella väsymissimuloinnilla	15
<i>Arto Vento, Jarkko Laine, Antti Raskinen, Timo Björk, Essi Huttu ja Mika Siren</i>	
Termisellä ruiskutuksella monitoiminnallisia pinnoiteratkaisuja vaativiin teollisuuden käyttökohteisiin	17
<i>Heli Koivuluoto ja Ulla Kanerva</i>	
Käyttövarmuutta kattiloihin uusilla materiaalivaihtoehdoilla	20
<i>Satu Tuurna, Jyrki Romu, Hannu Hänninen, Jouni Mahanen ja Tony Puikkonen</i>	
Materiaalitekniikka siivittää tuulivoimavaihteiston kilpailukykyä	23
<i>Kaisu Soivio ja Jukka Elfström</i>	
Ultralujien terästen ominaisuudet lopputuotteeseen osaaavan suunnittelun ja valmistuksen avulla	26
<i>Pertti Mikkonen, Timo Björk, Tuomas Skriko ja Niko Tuominen</i>	
Wärtsilän moottori- ja generaattori-yksiköiden teräsrakenteiden väsytestausta	31
<i>Panu Kämäräinen ja Tero Lokasaari</i>	
Hitsien vikasietoinen väsymismitoitus	35
<i>Petteri Kokkonen, Pekka Nevasmaa ja Jouni Ahtiainen</i>	
Suunnittelijan ja valmistusinsinöörin roolit digimaailmassa?	39
<i>Dan Pada, Jussi Minkkinen, Ilkka Sorsa, Jaakko Haapio, Kristo Mela ja Markku Heinisuo</i>	
Digitaalinen materiaalikehitys luo säästöä ja tehokkuutta teollisuuden materiaaliratkaisuihin	41
<i>Matti Lindroos, Anssi Laukkanen, Tom Andersson ja Kenneth Holmberg</i>	
Ponssien hitsattujen rakenteiden kustannustehokas suunnittelu, hankinta ja valmistus	43
<i>Jaakko Kekkonen ja Ismo Ruohomäki</i>	
Lisäävän valmistuksen mahdollisuudet	45
<i>Veli Kujanpää ja Antti Salminen</i>	
Osallistujien kokemuksia IWE-koulutuksesta	49
<i>Erkki Veijalainen</i>	
Lasereilla vauhdikkaasti kilpailukykyiseen tulevaisuuteen	52
<i>Juha Lukkari</i>	
Oulun siika pyhä kala	60
<i>Jouko Lassila ja Angelica Emeléus</i>	
Prof Jukka Kömi SHY:n puheenjohtajaksi	63
<i>Jouko Lassila ja Jukka Kömi</i>	
SHY:n hallitus 2017	63
Tulevia tapahtumia	64
Koulutus uutisia	65
Merkkipäiviä	66
Uusia jäseniä	66
Tuote- ja toimialahakemisto	69
Hitsaustekniikka'17 –päivät	72

Seuraavat numerot:

No 2/2017 Teollinen hitsaus

No 3/2017 NDT ja laatu

Tilaushinta

Suomessa 80 €

Subscriptions

from abroad 140 €

Vain tuottavuus luo digiajan työpaikat – DIMECC on teollisuuden vastaus digitalisaatioon

Digitalisaatio on hyvästä syystä nykyajan muotitermi. Digitalisaatio on yritysten kannattavuutta ja asiakkaiden käyttäytymistä nykyaikana nopeimmin ja voimakkaimmin ohjaava tekijä. Esimerkiksi peliyritykselle tai nettikaupalle jo minuuttien katkos saattaa aiheuttaa valtavia taloudellisia menetyksiä. Myös kansantalouden tasolle on syntynyt uusi kohtalonyhteys: Digitaalisuus on menestyksen edellytys.

Suomi on ollut yritysveltoisen ja yksityisen sektorin tarpeisiin rakentavan kehittämistoiminnan mallimaa jo yli parikymmentä vuotta. Suomessa on lisätty vientituloja ja avoimen sektorin kilpailukykyä tukevaa vaikuttavan tutkimuksen rahoitusta 1990-luvun lamasta lähtien. Viime vuosikymmenellä yrityksille siirrettiin myös päätäntävaltaa siitä, mihin yliopistoissa kannattaa panostaa. Nyt keskiössä on digitaalisuus.

Tulokset tästä ovat olleet loistavia. Ainoa yliopistoranking, jossa Suomi saa kaksi yliopistoa, TTY:n ja Aallon, 12 parhaan joukkoon maailmassa, on Times Higher Educationin yliopistojen ja yritysten välistä yhteistyötä kuvaava listaus. Mainitut yliopistotkin ovat olleet aktiivisia DIMECCin MANU-, BSA-, ja Hybrids-ohjelmissa, joiden tulosten pohjalta tämä Hitsaustekniikka-lehden erikoisnumero on laadittu.

EU:ssa lähes kaikki maat ovatkin käyneet tutustumassa toimintaamme ja joko kopioineet tai muunnelleet Suomen yritysten ja yliopistojen yhteisinnovoinnista malleja, joita eri valtiot ovat sitten myös sitoutuneet rahoittamaan. Tästä edelläkävijyydestä on syytä olla ylpeitä ja siitä on ollut Suomelle hyötyä hyvien yhteistyökumppanien löytämisessä.

Tälle pohjalle teollisuus on rakentanut uuden digiajan alustan Suomen nousua varten – se on DIMECC Oy. Tarkoitus on luoda ylivoimaiseksi todennetun tuottavuuden avulla moottori, joka kääntää Suomen työllisyyden aivan uusille urille. Elokuussa 2016 perustettu 69 organisaation omistama DIMECC Oy yhdistää Suomen parhaat voimat valmistavasta teollisuudesta, digitaalisesta teollisuudesta ja akateemisesta tutkimuksesta. DIMECC syntyi fuusiosta, jossa yhdistyvät Euroopan tehokkaimmat innovaatioalustat, valmistavan teollisuuden FIMECC Oy ja digitaalisen teollisuuden DIGILE Oy.

Teollisuus on tosissaan – on aika aloittaa 100 000 työpaikan luominen

Teollisuus haastaa nyt kaikki suomalaiset mukaan etsimään keinoja, joilla tuottavuus, talous ja ennen kaikkea työllisyys saadaan nousuun. Niin turvataan suomalaisen hyvinvoinnin tulevaisuus. Tavoitteena on 100 000 työpaikkaa Suomeen. Koko maata herätellään kohti tavoitteen toteutumista suurella idea- ja innovaatiokilpailulla, jonka nimi on MPIDEA. Kilpailun tulokset julkistetaan Suomen itsenäisyyden 100-vuotisjuhluvuoden virallisessa teollisuustapahtumassa, Manufacturing Performance Days 2017. Se järjestetään Tampereella tä-

mänvuoden toukokuun 29.-31.välisenä aikana. Kaikille avoimeen kilpailuun voi lähettää 18.4.2017 asti ehdotuksia osoitteeseen competition@mpdays.com.

20-kertainen tuotto

DIMECC Oy tarjoaa yrityksille ylivoimaisen tuottavan alustan innovaatioiden kehittämiseen. DIMECC pohjaa todistettuun osaamiseen, jossa innovaatio-ohjelmiin sijoitettu euro on tuottanut itsensä takaisin yli 20-kertaisesti. Se on ainutlaatuisen korkea luku.

Asiakkaamme, joita on tällä hetkellä noin 400, ovat Tilastokeskuksen analyysin mukaan menestyneet ylivoimaisesti paremmin kuin samojen toimialojen yritykset, jotka eivät ole asiakkaitamme. DIMECC:ä edullisempää ja kevyempää toimintamallia ei löydy koko EU:sta. Hallintokulumme ovat olleet reilut kolme prosenttia eli vain puolet siitä, mitä EU:ssa pidetään jo hyvä tehokkuutena!

DIMECC luo tietä uuteen hyvinvointiin

DIMECC tarjoaa portin aivan uudelleenlaiseen loikkaan, erityisesti start-upeille ja pk-yrityksille, ja samalla koko maalle. DIMECCin perustan luoneessa innovaatiotoiminnassa pk-yritykset ovat kuluneina vuosina kolminkertaistaneet kykynsä panostaa tuotekehitykseen. Siis pk-yritykset ovat jokaista T&K-toimintaan sijoittamaansa euroa kohden saaneet suuryrityksiltä ja valtiolta kaksi lisäeuroa.

Yhtäio on Suomelle elintärkeä: Innovaatiot tuottavat kilpailuetua, joka synnyttää investointeja, jotka luovat työpaikkoja. Innovoinnista kumpuavasta työstä syntyy Suomen hyvinvointi.

Kyseessä on Suomen suuri valinta

Menestys ei tule ilman oikeita valintoja. Suomi on juuri nyt vakavassa vaarassa pudota digitalisointikehityksen kärkeästä.

Tämä johtuu pääosin kolmesta syystä: Suomi on viimeiset kaksi vuotta siirtänyt julkista tutkimusrahoitusta takaisin valtiovetoiseksi. Näin tutkimusrahoituksessa jäävät liikaa taka-alalle sekä nykyisten että potentiaalisten tulevien menestyjyritysten tarpeet. Digitalisointi keskittyy helposti olemassa olevien asioiden tekemiseen digitaalisesti sen sijaan, että keskityttäisiin luomaan merkittävää lisäarvoa tuottavia uusia töitä. Vain korkea tuottavuus luo digiajan työpaikat.

Innovaatioympäristön heikentyneen kiinnostuksen seurauksena yritysten T&K-investoinnit ovat Suomessa vähentyneet. Pitkällä aika-



välillä tämä tarkoittaisi, että luomme alemman jalostusarvon tuotteita ja palveluita. Työ- ja elinkeinoministeriössä on jo havaittu, että muut maat ajavat Suomen ohi tutkimus- ja kehitystyön hyödyntämisessä.

Onneksi DIMECC on täydessä valmiudessa. Tästä erikoisnumerosta lukijat voivat havaita, miten teollisuus ja tutkijat saavat yhdessä kehitettyä hämmästyttävän hienoja ja uusia sovelluksia niin hitsauksen tekniselle, taloudelliselle kuin prosessipuolenkin osalle. Seuraavat suuret tuottavuusharppauksen mahdollisuudet ovat Design for Value ja LIFEX -ohjelmissamme, joissa valmistavan teollisuuden digitalisaatiota vauhditetaan. Rohkaisen hitsausväkeä tutustumaan myös keinoälyn mahdollisuuksiin.

Toteuttamista vaille valmis

Suomesta ei puutu ideoita, ei strategioita, ei selvityksiä, ei analyysejä, ei osaamista eikä tieteellisiä julkaisuja. Meiltä puuttuu vain toteutuksia, joissa julkinen rahoitus kohdistetaan sinne, missä yksityisen sektorin kasvuhaluimmat ja innokkaimmat tekijät ovat. Tämä on mm. ETLAn tutkijan professori Mika Malirannan mukaan kansantaloudellisesti järkevin tapa hankkia julkisilla varoilla hyötyä veronmaksajille. Käytännössä hyöty näkyisi vientituloina.

Yhtälö on yksinkertainen. Jos investoinnit nyt hakeutuvat maamme rajojen ulkopuolelle, sinne siirtyy hyvinvointikin. Siihen on olemassa selvä vaara. Toisaalta ratkaisukin on olemassa: Panostus DIMECCiin tuo investoinnit sinne minne haluammekin – Suomeen. Hyvinvointi tulee mukana, sillä ylivertainen tuottavuus ja uudet työpaikat ovat voittamaton yhtälö.

Toivotan lukijoille miellyttäviä hetkiä hitsausmaailman tulostemme ja uusien tuulien parissa!

Harri Kulmala
Toimitusjohtaja
DIMECC Oy
www.dimecc.com



IWE-, IWT-, IWS- ja IWI-koulutukset AEL:ssä 2017

Hitsausinsinööri IWE ja hitsausteknikko IWT

- aloitus 22.5.2017

Koulutus sisältää 18 päivää verkko-opiskelua ja 32 lähipäivää, joissa teoriaosuuksissa opetusta voi seurata onlineina Helsingissä, Oulussa tai Turussa.

Hinta 9 390 € (+ alv. 24 %)

Hitsausneuvoja IWS

- aloitus 11.9.2017

Koulutus sisältää 32 lähipäivää, joissa teoriaosuuksissa opetusta voi seurata onlineina Helsingissä, Oulussa tai Turussa.

Hinta 4 290 € (+ alv. 24 %)

Hitsaustarkastaja IWI, niille joilla ei ole IWS-, IWT- tai IWE-tutkintoa

- aloitus 11.9.2017

Koulutus sisältää 35 lähipäivää, joissa teoriaosuuksissa (20 pv) opetusta voi seurata onlineina Helsingissä, Oulussa tai Turussa.

Hinta 4 590 € (+ alv. 24 %)

Hitsaustarkastaja IWI IWE-, IWT- tai IWS-tutkinnon suorittaneille

- aloitus 20.11.2017

Hinta 2 960 € (+ alv. 24 %)

ael.fi/hitsaus

Kysy lisää

Sophie Ehrnrooth, hitsauskouluttaja, IWE, IWI-C
sophie.ehrnrooth@ael.fi, 050 500 1777

AEL.fi

Kaarnatie 4, 00410 Helsinki
09 530 71
Seuraa meitä [aelkoulutus](#)
[f](#) [t](#) [v](#) [in](#)

DIMECC MANU-ohjelman projektien esittely

Kai Syrjälä

”Digitalisaatio” on terminä hyvin laaja. Tässä yhteydessä digitalisaatiolla tarkoitetaan tutkimuksen pohjalta uudistettujen toimintatapojen siirtämistä digitaaliseen muotoon. Tuloksena saadaan hyvä toistettavuus ja toimintojen nopeus kasvaa. Digitalisaatio tarjoaa yrityksille laajan skaalan työkaluja sekä suunnittelu- ja tuotantoympäristöjä. Tuloksena saadaan konfiguroitavia tuotteita ja tehokas tuotanto.

DIMECC MANU-ohjelma käynnistyi 2012 lokakuussa ja päättyi vuoden 2016 lopussa. Ohjelmassa oli mukana 35 yritystä ja 6 tutkimuslaitosta. Ohjelma jakaantui kuuteen, itsenäiseen projektiin, jotka on lyhyesti esitellyt alla.

■ **Digifosure.** Hitsattavien rakenteiden väsymissuunnittelun kehittäminen simuloinnin ja testauksen ja teorian tutkimuksen pohjalta. Projektissa tehtiin useita teollisuuspilotteja. Tavoitteena oli nopeuttaa konepajatuotteiden tuotekehityssyklejä ja löytää uusia suunnittelumenetelmiä. Tällaisia ovat esimerkiksi väsymislajuuden simulointialgoritmit ja menetelmät hitsin laadunvaihtelun

hallintaan hitsien mitoituslaskennassa ja valmistuksessa. Samoin tavoitteena oli saada aikaan keveitä rakenteita. Ohuiden rakenteiden käytöllä päästään myös täysimittaisesti hyödyntämään laser-hitsausmenetelmiä. Yrityksen saivat kevennettyä tuotteitaan ja kehitettyä laitteiden luotettavuutta. Tuloksista vielä mainittakoon, että digitaalinen ns. jigivapaa hitsaus saatiin demonstraatiovaiheeseen.

■ **Digimap.** Tässä projektissa tavoitteena oli kehittää digitaalisia ratkaisuja valmistusketjun tehostamiseksi. Digitaalinen data on kasvanut hurjasti ja yritykset eivät pysty aina ottamaan irti hyötyä eri järjestelmistä. Tutkimus

kohdistui valmistusprosessien kehitykseen (MPM) ja digitaalisten työkalujen kehittämiseen fokuksituihin yritystarpeisiin. Hankkeessa kehitettiin yritysten ja tutkimuslaitosten yhteistyönä kolme osahanketta sekä yritysten sisäisiä toimintatapoja sekä tuotteita.

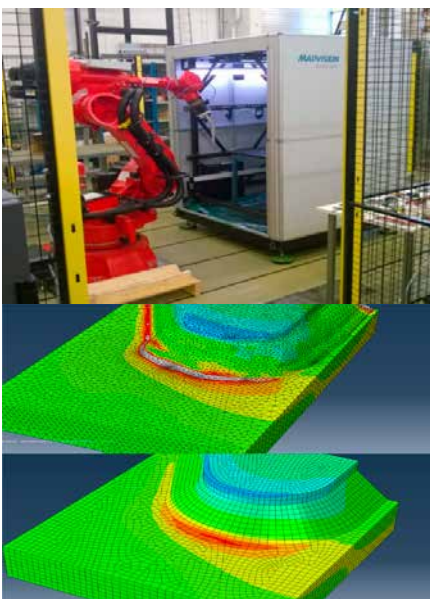
a. **Optimointialusta ultralujien (HSS) teräsrakenteiden suunnitteluun.**

Algoritmien avulla voidaan määrittellä rakenteen optimipainon tai hinnan suhteen. Ohjelmistosta saatiin helppokäyttöinen ja yritykset ovat ottaneet sen käyttöön.

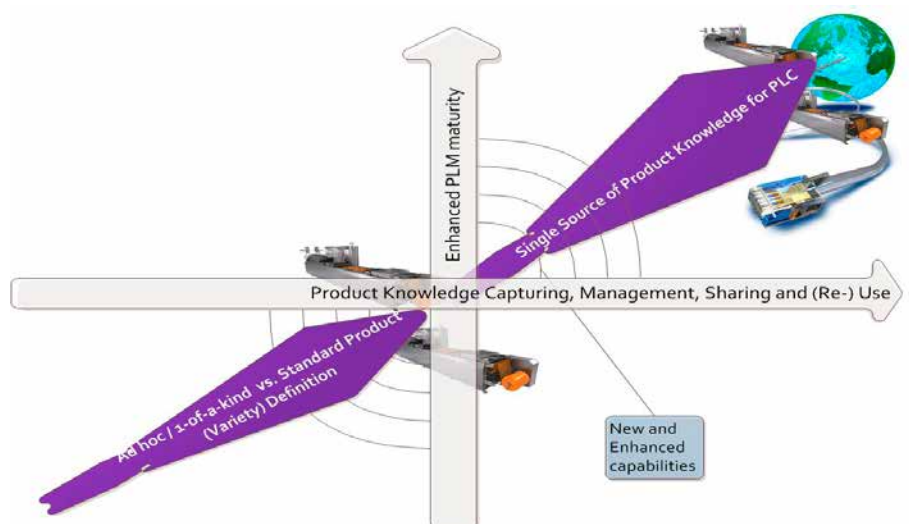
b. **Web-pohjaisen suunnitteluohjeiston luominen ultralujien terästen valmistukseen.**

(DFM digital data sheets) tuottavuuden nostamiseksi. Fokuksena oli koneistustehokkuus ja terien energiatehokkuuden hallinta.

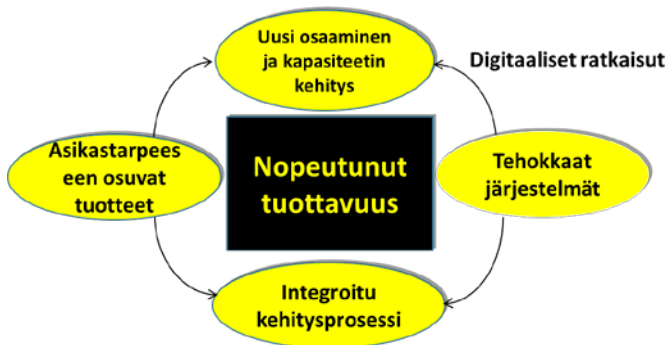
c. **Digitaalisten valmistusmenetelmien ja sen hallinnan kehitys.** Esimerkkinä robottivalmistuksen suunnittelu raskaiden rakenteiden hitsaukseen ja Smart factory -konseptin soveltaminen.



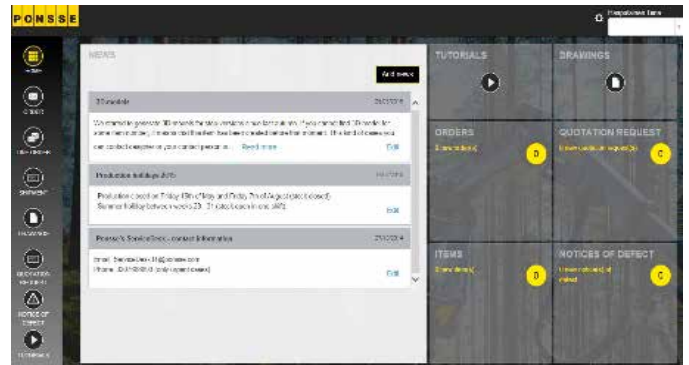
Itseohjautuva hitsaussolu ja väsymiskuormitetun hitsin simulointi.



Tuotetiedon hallinnan kehitys.



Pääfokusalueet nopeaan tuottavuuteen pääsemiseksi.



Extranet-pohjainen toimittajaverkoston portaalinäkymä.

■ **Promagnet.** Hankkeen tavoite oli soveltaa PLM-työkaluja suomalaisen teollisuuteen. Suomalaiset yritykset tekevät paljon projektipohjaisia tuotteita. Kaupalliset PLM-järjestelmät soveltuvat huonosti tämän tyyppiseen toimintaan. Promagnet keskittyi tuotetiedon hallintaan ja hyödyntämiseen tuotteen elinkaaren aikana. Yritykset implementoivat kustomoituja PDM-järjestelmiä yhdessä DIMECC MANUn ohjelmistoyritysten kanssa, automatisoituja 3D-rakenteita, ja kehittivät tuotemuutosten hallintaa PDM-työkalujen avulla.

■ **Accelerate.** Tämän projektin tavoitteena oli päästä tuoteprojekteissa nopeasti tuottavuuteen. Lähtökohdiana oli alihankintaketjun pitäminen Suomessa. Projektissa oli eri osa-alueita, alihankintaketjun tehostaminen ja digitaalisten apuneuvojen käyttöönotto metsätraktorin kehityksessä. Toimittajaverkoston, kustannusten ja uuden tuotteen tuotannon ylösajo ovat tulleet haasteelliseksi, koska versioita on paljon ja asiakasvaatimukset ovat lisääntyneet.

Projekti osui hyvin projektin tavoitteisiin ja tulokset ovat olleet hyviä. Tässä projektissa on pilotoitu digitaalisia työkaluja seuraavilla osa-alueilla.

- Tiedonkeruu ja jalostaminen organisaation eri alueiden käyttöön. Tämä on mahdollistanut uuden oppimisen ja moninkertaista tiedon käsittelyä on jäänyt pois
- Digitaalisen tuoterakenteen kehittäminen niin, että sitä on voitu hyödyntää konseptointivaiheesta huolto- ja jälkimyyntiin asti.
- Yrityksen eri toimialueiden ja hankintaverkoston integrointi siten, että kaikki ovat voineet tukea ja kehittää uusia tuotteita ja ratkaisuja tuotekehitysvaiheessa.

Acceleratessa kehitettiin myös elektro-niikan kokoonpanosolun videopohjainen opastus-järjestelmä ja kehitettiin yritysten materiaalin kiertonopeutta ja materiaalin näkyvyyttä.

- **Leanmes.** Tämän projektin tavoite oli luoda ratkaisuja tuotannon reaaliaikaiseen ohjaamiseen; digitaalisen informaatiovirran näkyvyys kaikille yrityksen osapuolille ja toimittajaverkostolle. Tavoitteena oli

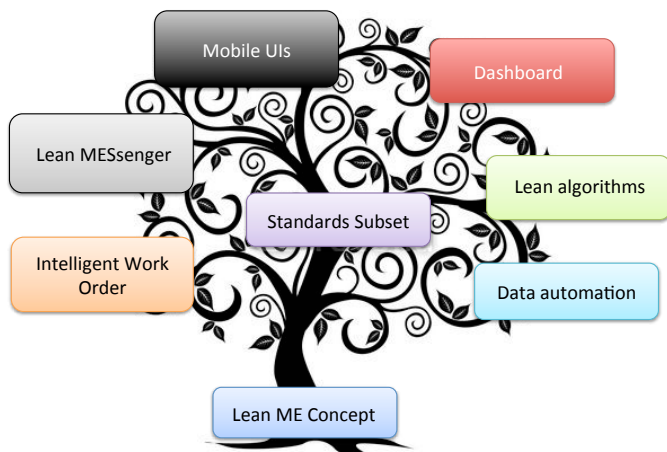
digitalisoida toiminta tuotannon lattialla siten, että tuottavuus, joustavuus ja ennustettavuus paranevat.

Manu tuotti ns. LEANMES-konseptin, paljon moduulitason dataa ja valmiita ohjelmia.

Lisäksi DIMECC MANU -ohjelmassa oli teknologiaosio, joka keskittyi lisäävän valmistuksen soveltamiseen, kestäväen kehityksen mittariston kehitykseen (sustainability KPI:s) ja Smart factory -konseptin kehittämiseen kaikkien osa-projektien kesken.

DIMECC MANUN tuloksena saatiin yli 100 tieteellistä julkaisua sekä ohjelman aikana valmistui seitsemän väitöskirjaa ja 35 muuta tutkintoa. Yritykset julkaisivat viisi uutta ohjelmistotuotetta. Yritykset pystyivät uudistamaan toimintatapojaan ja nopeuttamaan investointejaan. Tuloksia voidaan pitää erittäin hyvinä.

Dr Kai Syrjälä
DIMECC MANU ohjelmapäällikkö
Kaidoc oy



Lean-ratkaisumodulit ja dashboard-näkymä.



Sovelluslähtöinen materiaalitutkimus uudistaa metalli- ja koneteollisuutta

- Teollisuusvetoisten DIMECC-ohjelmien fokuksessa ovat hybridimateriaalit ja sekä läpimurtoteräkset ja niiden sovellukset -

Markku Heino

Valmistavaa teollisuutta uudistavaa ja digitalisoivaa tutkimusyhteistyötä tehdään aktiivisesti DIMECCin materiaalitutkimusohjelmissa. Vuoden 2014 alussa käynnistyneet tutkimusohjelmat, Läpimurtoteräkset ja niiden sovellukset (Breakthrough Steels and Applications, DIMECC BSA) ja Hybridimateriaalit (Hybrid Materials, DIMECC HYBRIDS) ratkovat teollisuuden kriittisiä tutkimuskysymyksiä sovellus- ja tarvelähtöisesti modernin materiaalitieteen keinoin.

Ohjelmien monialaiset tutkimuskonsortiot kokoavat yhteen alan keskeiset tutkimusryhmät sekä laajan joukon suomalaisia materiaalitutkimusta tekeviä ja soveltavia yrityksiä eri teollisuuden alueilta (mm. metalli, koneet, cleantech, energia, biotalous ja kuljetusvälineet). Kaikkiaan yhteistyössä on mukana yli 60 yritystä, jotka kattavat useita nykyisiä arvoketjuja ja rakentavat uusia.

BSA- ja HYBRIDS- ohjelmat toteuttavat ainutlaatuista tutkimusyhteistyökonseptia, jossa kansainvälisen tason huippututkimus ja teollisuuden konkreettiset tarpeet yhdistyvät tehokkaalla tavalla. Merkittävässä roolissa tässä on ohjelmien sisään rakennettu yli 30-paikkainen DIMECC Breakthrough Materials -tohtorikoulu, jolla rakennetaan pitkällä tähtäyksellä merkittävää uutta osaamis pohjaa Suomeen. Samalla luodaan uusia, kilpailukykyisiä ja kestävän kehityksen mukaisia materiaali- ja energiatehokkaita ratkaisuja suomalaiselle vientiteollisuudelle jo nyt.

Poikkialainen yhteistyö tuo ratkaisuja teollisuuden konkreettisiin tarpeisiin

DIMECCissä on jo ennen kesällä 2016 tapahtunutta Fimecc Oy:n ja Digile Oy:n fuusioitumista johdettu kaksi viisivuotista materiaali-tekniikkaan painottunutta tutkimusohjelmaa (Demanding Applications, DEMAPP sekä Light and Efficient Solutions, LIGHT; 2009-2014). Näissä on luotu vahvaa pohjaa sekä teknologiamielessä että myös yhdessä tekemisen meininkiä käytännössä. Yritysten todellisten tarpeiden pohjalta systemaattisesti rakennetut uuden sukupolven yritysveitoiset tutkimusohjelmat DIMECC BSA ja HYBRIDS luovat uutta osaamista Suomen teollisuuden pitkän ajan kriittisiin tarpeisiin.

BSA- ja HYBRIDS-ohjelmiin on rakennettu monialaisia projekteja, joissa haetaan ratkaisuja yritysten tulevaisuuden tarpeisiin ja alan keskeisiin tutkimushaasteisiin. Mukana on iso joukko pk-yrityksiä sekä toisaalta materiaalien käyttäjiä ja soveltajia useilta eri aloilta. Näiden kautta tuloksia viedään aktiivisesti ja

nopeutetusti käytäntöön pohjustamaan uutta liiketoimintaa. Ohjelmien sovelluslähtöiseen materiaali-kehitykseen kuuluu olennaisena osana myös valmistustekniikoiden kehitys. Molemmissa teemoissa tämä "materiaalit/valmistus/sovellukset"- kolminaisuus on tärkeässä asemassa. Tutkimustyö lähtee sovelluskohteiden tarpeiden ja haasteiden ymmärtämisestä ja sisältää mm. kokeellista materiaalien ja niiden valmistustekniikoiden kehitystä, tuotevalmistuksen kehitystä mallintamista ja simulointia hyödyntäen, monipuolista karakterisointia, tuotannon digitalisointia ja uusia sovelluskonsepteja. Tavoitteena ovat uudenlaiset ominaisuudet ja ominaisuusyhdistelmät, joilla saavutetaan kustannustehokkaasti ratkaisuvia etuja eri teollisuusalojen sovelluksissa. Potentiaalisia sovellusaloja ovat mm. koneenrakennus-, rakennus-, energia-, kuljetusväline-, elektroniikka-, metsä-, prosessi- ja kemianteollisuus.

BSA- ja HYBRIDS- ohjelmat ovat itsenäisiä ja erillisiä, mutta toisiaan erinomaisesti tukevia tutkimusohjelmia. Ohjelmat liittyvät tutkimuksellisesti toisiinsa erityisesti mallinnuksen sekä tavoitteellisen, sovellusläh-

töisen materiaali-kehityksen toimintamallin osalta. Yhteinen ohjelmanhallinta, useat yhteiset tapahtumat, yhteinen tohtorikoulu workshoppeineen ym. takaavat, että tuloksia jaetaan ja haasteita ratkotaan laajasti myös yli projekti- ja ohjelmarajojen. Tämä taas tuo uutta virtaa mukana oleville yrityksille ja tutkimusryhmille.

BSA – teräksenkovaa osaamista perusilmiöistä uusiin sovelluksiin

Läpimurtoterästen yhteydessä keskeisiä asioita ovat esimerkiksi lujuus, sitkeys ja rakenteiden keveys yhdistettynä mm. kulumisen, korroosion ja korkeiden lämpötilojen keston sekä kitkan hallintaan. Tutkimusohjelma Läpimurtoteräkset ja niiden sovellukset (DIMECC BSA) tuo yhteen suomalaisen terästeollisuuden ja terästä käyttävän konepajateollisuuden yritykset sekä kaikki alan merkittävät tutkimusryhmät. Ohjelman

tavoitteena on terästä valmistavan ja käyttävän teollisuuden kilpailukyvyyn ja kasvun sekä uudistumisen turvaaminen. Sitä tavoitellaan kehittämällä uusia materiaaliratkaisuja kasvavien teknologia-alojen (esim. bioenergia, arktiset teknologiat ja kuljetusvälineet) tarpeisiin. Modernien korkealujuusterästen, valumateriaalien ja ruostumattomien terästen käytettävyyttä, pitkäaikaisominaisuuksia sekä suunnittelumenetelmiä ja -normeja kehittämällä pyritään edistämään uusien elinkaarihokkaiden erikoisterästen ja materiaalien laajempaa käyttöä.

Tämä pioneerityö edellyttää myös standardien ja normien uusimista, mihin ohjelman tutkimustyö luo vankan pohjan. Uusia materiaalikonsepteja kehittämällä tavoitellaan korkeamman jalostusasteen erikoistuotteiden osuuden kasvua ja vähäisempää riippuvuutta kalliista ja niukalti saatavissa olevista raaka-aineista. Kaiken tämän perustana on perusilmioiden syvälinen hallinta sekä modernien kokeellisten tutkimusmenetelmien ja mallinnustyökalujen kehittäminen ja soveltaminen.

Hybridimateriaaleilla täsmäominaisuuksia resurssitehokkaasti

Maailmassa on paljon hyviä materiaaleja, mutta usein törmätään tilanteeseen, jossa yksi materiaali ei ominaisuuksiltaan vastaa käyttökohteen tarpeita. Hybridimateriaaleilla haetaan täysin uudenlaisia ominaisuusyhdistelmiä yhdistämällä erilaisia materiaaleja (metallit, keraamit, polymeerit) tai elementtejä hallitusti yhteen joko yhdeksi materiaaliksi tai toimiviksi rakenteiksi. Esimerkkeinä ovat mm. kerrosrakenteet, pinnoitteet sekä makro-, mikro- tai nanotason komposiitit, joilla voidaan saavuttaa spesifisiä ominaisuuksia materiaali-, energia- ja kustannustehokkaasti. Yhteisenä tutkimushaasteena näille on tyypillisesti eri materiaalikomponenttien rajapintojen hallinta, optimaalinen valmistus/liittäminen ja kierrätettävyys. Näiden hallinta tuo yrityksillemme kilpailuetua, jota on vaikea nopeasti kuroa.

HYBRIDS-ohjelma onkin koonnut systemaattisesti yhteen uudenlaisen monialaisen osaamisverkoston toteuttamaan yhteistä, strategisesti tärkeää ja kunnianhimoista tutkimusagenda. Yrityskonsortiossa on mukana mm. materiaalien valmistajia (metallit, muovit, komposiitit, erikois-/nanomateriaalit) sekä pinnoitusteknologian, valmistustekniikoiden, suunnittelun, mittauksen ja instrumentoinnin erikoisosaajia sekä laaja joukko lopputuotteiden valmistajia, jotka edustavat useita eri arvoketjuja. Ohjelman tavoitteena on lisätä Suomen teollisuuden kilpailukykyä tietointensivisten korkean teknologian materiaaliratkaisujen avulla ja rakentaa uutta syvälistä ja monialaista osaamista. Ohjelmassa on kehitetty mm. merkittäviä uusia

pinnoitteita ja niihin liittyviä menetelmiä tuomaan tarttumattomuutta, kulutuksen ja korroosion kestoa ja muuta toiminnallisuutta, uusia kitkaa alentavia ratkaisuja liikkuviin koneen osiin sekä aistivia tai esim. ääntä vaimentavia kerrosrakenteita.

Teollisuuden tohtorikoululla kansainvälistä huippututkimusta ja uutta osaamista

Molemmat ohjelmat koostuvat useasta teollisuusvetoisesta projekti-kokonaisuudesta. Niitä sitoo yhteen perustutkimukseen painottuva Fundamentals and Modeling, FUNMODE- projektikokonaisuus, joka keskittyy kriittisten perusilmiöiden ymmärtämiseen sekä materiaaliominaisuuksien mallintamiseen ja simulointiin. Tämä tuo ohjelmiin mukaan vahvan tieteellisen perustan ja kansainvälisen huipputason tutkimusyhteistyön. Se varmistaa myös toimintamallin, jossa uusin tutkimustieto, menetelmät ja mallinnustyökalut tuodaan projektien ja yritysten aktiiviseen käyttöön. Keskeisessä osassa on ns. digitaalinen materiaalikehitys, jonka elementtejä ohjelmissa on rakennettu systemaattisesti yhdistäen mikrotason ilmiöiden hallinta tuotteen valmistukseen ja elinkaaren hallintaan. Tämä konsepti, joka mahdollistaa jopa tuotekehitysajan puoliintumisen ja merkittävästi paremman ennustettavuuden materiaalien luotettavuudelle hankalissa käyttökohteissa, on tuotu palvelemaan käytännön ongelmanratkaisua BSA- ja HYBRIDS-projekteissa.

Merkittävä osa tutkimustyöstä tehdään yhteensä yli 30 väitöskirjatyön muodossa. Niissä tutkijat pureutuvat teollisuuskumppanien kanssa yhdessä määriteltyihin, tutkimuksellisesti haastaviin ja kriittisiin ongelmiin yhteistyössä alansa johtavien kansainvälisten tutkimuskumppanien kanssa. Nämä väitöskirjatyöt ja niiden toteuttajat ja ohjaajat muodostavat vahvan poikkialaisen tutkimusyhteisön kumpaankin ohjelmaan. Lisäksi BSA- ja HYBRIDS- ohjelmien FUNMODE-projektit on linkitetty toisiinsa, mikä lisää entisestään tutkimusyhteisön moninaisuutta ja kriittistä massaa.

FUNMODE-aktiiviteetti muodostaa DIMECC Breakthrough Materials -tohtorikoulun, jossa tutkijat työskentelevät yritysten haasteellisten ja merkityksellisten tutkimuskysymysten parissa. Kolmen vuoden aikana on syntynyt jo lukuisia uusia ratkaisuja ja yli 100 tieteellistä julkaisua materiaalitekniikan alalla. Tohtorikoulu muodostaa myös olennaisen osan ohjelmien kansainvälisestä ulottuvuudesta, koska väitöskirjaopiskelijat suorittavat osan tutkimuksestaan alan johtavissa yliopistoissa tai tutkimuslaitoksissa. Tämä varmistaa proaktiivisesti, että Suomeen saadaan tulevaisuudessa oikeanlaisia monialaisia osaajia, mikä on eräs tärkeimmistä kilpailukykytekijöistä Suomen teollisuudelle.

Breakthrough Steels and Applications, DIMECC BSA

- kesto 01.01.2014 – 30.6.2017
- mukana 31 yritystä ja 7 tutkimuslaitosta
- 4 laajaa projektikokonaisuutta:
 - P1. Material challenges from emerging processes and applications
 - P2. Design beyond present codes
 - P3. Novel steel concepts
 - P4. Fundamentals and modelling (FunMode)
- kokonaisvolyyymi n. 27 miljoonaa euroa

Hybrid Materials, DIMECC HYBRIDS

- kesto 01.01.2014 – 30.6.2017
- mukana 38 yritystä ja 7 tutkimuslaitosta
- 5 laajaa projektikokonaisuutta:
 - P1. Multifunctional thin coatings
 - P2. Multifunctional thick coatings and composites
 - P3. Light multifunctional hybrid structures
 - P4. Polymer multifunctional sliding materials
 - P5. Fundamentals and modelling (FunMode)
- kokonaisvolyyymi n. 20 miljoonaa euroa

**Markku Heino, TKT, Dosentti
DIMECC BSA- ja HYBRIDS- ohjelmien
ohjelmajohtaja
Spinverse Oy
markku.heino@spinverse.com**

Lisätietoja:

DIMECC BSA:
<http://www.dimecc.com/dimecc-services/bsa-breakthrough-steels-applications/>

DIMECC HYBRIDS:
<http://www.dimecc.com/dimecc-services/hybrids-hybrid-materials/>

Tohtorikoulu:
<http://www.dimecc.com/dimecc-services/dimecc-breakthrough-materials-doctoral-school/>

Protolabin miehistönkuljetusajoneuvo

- PMPV 6X6 "MiSu" on parempaa suojausta ja lisää liikkuvuutta tutkimuksella ja tuotekehityksellä -

Riku Neuvonen

Teollisuuden ja yliopistojen yhteisten tutkimusohjelmien ansioista on mahdollista ratkoa vaikeita tutkimuksen ja tuotekehityksen haasteita. Parhaimmillaan yhteistyön tuloksena syntyneet ideat mahdollistavat uusien huippuominaisuuksilla varustettujen tuotteiden tuomisen markkinoille. Suomalaisen Protolab Oy:n suurimpana tuotekehityshaasteena oli kevyen, mutta hyvän räjähdysuojauksen saavuttaminen. Tämän ongelman ratkaisu mahdollistui uuden tyyppisen miehistönkuljetusajoneuvon, PMPV 6X6:n, kehittämisen.



PMPV 6X6, tuttavallisemmin MiSu (Miina-Suojattu), on Protolab Oy:n kehittämä miehistönkuljetusajoneuvo. MiSun panssaroitu teräsrakenne tarjoaa erittäin hyvän suojan sekä räjähdyksiä että ballistisia uhkia vastaan. Huipputason suojausominaisuuksista huolimatta MiSu on suhteellisen kevyt, mikä mahdollistaa hyvän liikkuvuuden myös hankalassa maastossa niin kesällä kuin talvellakin, kuva. Näiden kahden ominaisuuden, keveys ja suojaus, yhdistäminen on vaatinut vuosien tuotekehitys- ja tutkimustyön, jonka on mahdollistanut DIMECC:in (ent. FIMECC) BSA-tutkimusohjelma sekä yhteistyö Lappeenrannan teknillisen yliopiston (LUT) ja SSAB:n kanssa.

Protolab Oy on erikoistunut erikoisajoneuvojen ja ajoneuvokomponenttien sekä ballistisilta uhilta ja miinaräjähdyksiltä suojaavien rakenteiden suunnitteluun ja toteutukseen sekä näihin liittyviin konsultointi- ja projekti johtotöihin. Yhtiön toiminta keskittyy pääasiassa ajoneuvojen kehittämiseen, tuoteistamiseen ja esivalmistukseen. Tämän lisäksi yhtiön liiketoimintaan kuuluu myös valmiiden ajoneuvojen lisävarustelu-, päivitys- ja muutostyöt, joiden tarkoituksena on päivittää ajoneuvo vastamaan muuttuneisiin vaatimuksiin. Protolabin toiminta perustuu tiiviin alihankkija- ja yhteistyöverkoston hyödyntämiseen. Tämä mahdollistaa laajan osaamis-

pohjan sekä riittävät resurssit suunnitteluun ja valmistukseen.

PMPV 6X6 "MiSu" – moderni miinasuojattu erikoisajoneuvo

Maailman erikoisajoneuvomarkkinoilla on pulaa kriisinhallintatehtäviin soveltuvista erittäin hyvin suojatuista, vaikeassa maastossa hyvin liikkuvista ja kohtuuhintaisista miehistönkuljetusajoneuvoista. Nykyisin tuotannossa olevat panssaroidut ajoneuvot ovat



Lapissa tehtyjen talvitestien mukaan MiSu pärjää hyvin myös arktisissa olosuhteissa.

huippukallista teknologiaa hyödyntäviä täysin varusteltuja taistelujoneuvoja, joissa käytetään lukuisien MIL-standardien mukaisia komponentteja. Markkinoiden tarpeeseen vastatakseen Protolab Oy on kehittänyt uudentyyppisen hyvin suojatun sekä ketterän ja kohtuuhintaisen ajoneuvon PMPV 6X6 "MiSu".

MiSun konseptisuunnittelu aloitettiin syksyllä 2009. Alusta lähtien suunnittelun pääpaino on ollut suojauksen ja liikkuvuuden maksimoinnissa ja hinnan minimoinnissa. Suojausta on pyritty kehittämään tekemällä yhteistyötä LUT:n Teräsrakennelaboratorion kanssa.

Ajoneuvotekniikassa on pyritty hyödyntämään siviiliajoneuvosta tuttuja ankarin olosuhteisiin soveltuvia standardikomponentteja. Tämän ansioista ajoneuvon hinta on onnistuttu pitämään kohtuullisena. Siviiliajoneuvoista tuttujen standardikomponenttien hyödyntäminen varmistaa varaosien saannin ja helpottaa ajoneuvojen huoltamista, minkä johdosta myös ajoneuvon elinkaarikustannukset saadaan pidettyä mahdollisimman pieninä.

MiSun dimensiot ja tekniikka mahdollistavat sen rekisteröimisen siviilikäyttöön. Ohjaamoon mahtuu kuljettajan lisäksi apukuljettaja. Takaosaa voidaan hyödyntää 10 henkilön tai vaihtoehtoisesti rahdin kuljettamiseen. Moottorista irtoaa reilusti vääntöä, joka mahdollistaa pituuskaltevuudeltaan jopa 60 % jyrkän mäen nousemisen. MiSun huipponopeus maantiellä on 110 km/h. Maastossa MiSu liikkuu näppärästi myös ahtaissa paikoissa, koska sekä etu- että taka-akselit ovat ohjaavia. Tästä on etua myös miinasuojauksessa, koska kaikki renkaat kulkevat lähestulkoon samassa urassa, mikä pienentää miinaan ajamisen todennäköisyyttä. MiSussa on myös panostettu ajoneuvon käytettävyyteen. MiSun ajamisesta on haluttu tehdä mahdollisimman helppoa, jotta sen käyttäminen ei vaadi pitkää koulutusta. Kuljetta-

jaksi voi hypätä lähestulkoon kuka tahansa.

Vuonna 2015 valmistui ensimmäinen prototyyppi, jonka avulla ajoneuvon toimivuutta on testattu niin maantiellä kuin maastossa sekä kesällä että talvella. Kesätestejä on suoritettu Etelä-Suomessa ja talvitestit tehtiin keskellä talvea Lapissa. MiSun siirtämiseen Etelä-Suomesta Lappiin ei tarvittu lavettia, vaan noin 2000 km edestäkainen matka taitettiin MiSun omin voimin. MiSua ovat ajaneet sotilashenkilöt sekä siviilit ja palaute on ollut positiivista. Tosin Teknavin testissä Markku Alén oli sitä mieltä, että kiihtyvyyden voisi olla parempi. Ehkä Alén on totunut vähän eri käyttötarkoitukseen valmistettujen ajoneuvojen tuomaan vauhdin hurmaan. Ajettavuuden lisäksi suojauksen toimivuutta on testattu räjähtyskokeiden avulla.

Materiaalitutkimus ja mallinnus avainroolissa

Räjähdyksiltä suojaavan painokriittisen hitsatun teräsrakenteen suunnittelu ja valmistus on erittäin haastavaa. Misun tapauksessa haasteista on selvitty BSA-projektissa sekä LUT:n Teräsrakennelaboratoriossa tehdyn tutkimustyön että Protolabin oman tuotekehityksen avulla. Tämän tyyppinen yritysten ja yliopistojen yhteistyö mahdollistaa sen, että yliopistoissa tehtävä perustutkimus suunnataan kohteisiin, jotka tukevat suomalaista teollisuutta ja sitä kautta koko maan taloutta. Toisaalta yritykset saavat ensikäden tietoa yliopistojen tutkimuksesta sekä saaduista tuloksista ja näin ollen voivat hyödyntää uuinta tietoa tuotekehityksessään.

Tähän mennessä tutkimushanke on tuottanut tietoa uudentyyppisten suorakarkaisemalla (DQ) valmistettujen suojausterästen ominaisuuksista sekä siitä, kuinka näitä teräksiä voidaan tehokkaasti hyödyntää pai-

nokriittisissä rakenteissa. Samaa tietoa voidaan hyödyntää myös muissa rakenteissa, joissa käytetään lujia DQ-menetelmällä valmistettuja teräksiä. Tämän lisäksi hankkeen tavoitteena on kehittää laskentamenetelmiä suunnittelutyön helpottamiseksi. Erityisenä kiinnostuksen kohteena on materiaalin vaurioitumis- ja murtumismallin kehittäminen niin perusaineelle kuin hitsatussa tilassa olevalle materiaalille. Tällaisen mallin rakentaminen vaatii huomattavan määrän aineenkoetusta, esimerkiksi veto-, kovuus- ja hitsauskokeita. Mallin lisäksi koetulosten analysointi auttaa ymmärtämään tämän tyyppisten terästen käyttäytymistä ja lisää sitä kautta tietoa DQ-terästen käytettävyydestä. Kun tietoa terästen käyttäytymisestä erilaisissa suunnittelutilanteissa on tarpeeksi, voidaan tieto koostaa esimerkiksi suunnitteluohjeiksi.

Suojausteräksset ja niiden tehokas hyödyntäminen

Suojausteräksiä käytetään kohteissa, joissa tarvitaan suojaa räjähdyksiltä tai ballistisilta uhilta. Ballistisen suojauksen kannalta tärkeimmät ominaisuudet ovat kovuus ja lujuus. Räjähdyssuojauksessa puolestaan lujuus ja sitkeys ovat tärkeimmät ominaisuudet. Yleisesti suojausterästen myötölujuus on luokkaa 1000-1200 MPa, murtolujuus 1200-1500 MPa, kovuus 400-600 HBW ja sitkeys A_5 8-10 %. Ajoneuvon tapauksessa suojaus kannattaa integroida runkorakenteeseen. Tällöin myös konepajavalmistettavuus, erityisesti hitsattavuus, on merkittävässä roolissa.

MiSun suojauksessa hyödynnetään SSAB:n kehittämiä DQ-menetelmällä tuotettuja suojausteräksiä. DQ-menetelmässä teräs karkaistetaan välittömästi termomekaanisen valssauksen jälkeen. Menetelmä mahdollistaa matalahiiliisten martensiittisten teräslevyjen tuottamisen kustannustehokkaasti. Nämä teräkset toimitetaan karkaistuna hiilikvivalentin ollessa luokkaa 0,6. Pelkästään korkea hiilikvivalentti sekä martensiittinen mikrorakenne aiheuttavat päänsisäisiä hitsauksia. Tämän lisäksi räjähdysten aiheuttama kuormitus on erittäin voimakas ja iskumainen, joten hitsien on oltava erittäin laadukkaita. Korkeat laatuvaatimukset yhdistettynä perusaineen ominaisuuksiin tekevät hitsauksesta erittäin haastavaa.

Suojausterästen tehokas hyödyntäminen vaatii suunnittelijoilta ja valmistukselta paljon. Erityisesti räjähdysuojauksessa rakenteen muodonmuutoskyky tulee maksimoida, jotta rakenne kestää murtumatta siihen kohdistuvan iskumaisen kuorman. Perusaineen A_5 -sitkeyden ollessa luokkaa 9 %, hitsatusta tilasta puhumattakaan, rakenneratkaisut tulee miettiä tarkkaan. Erityisesti rakenteelliset jännityspiikit tulee minimoida muotoilemalla



Räjähdyksen aiheuttama kuormitus on erittäin raju.

osat siten, että rakenteen kriittisissä kohdissa ei ole suuria paikallisia jäykkyseroja. Yksi tehokas tapa on suunnitella rakenne siten, että myötäminen ja muodonmuutokset tapahtuvat hallitusti, kuten ajoneuvojen kolarisuojauksessa. Tämä parantaa rakenteen kestävyyttä ja pienentää miehistöön kohdistuvia kuormia.

Nykyisin lähes jokaisella teollisuuden alalla suunnittelun ja tuotekehityksen yhteydessä valmistettävien prototyyppien ja suuren mittakaavan kokeiden määrä pyritään minimoimaan käyttämällä hyväksi 3D-suunnitteluohjelmien lisäksi luotettavia simulointityökaluja. Erityisesti autoteollisuudessa

simulointi on arkipäivää, ainakin kolariturvallisuuden osalta. Simulointimallit tarvitsevat kuitenkin tarkat lähtötiedot, jotta saatavat tulokset ovat luotettavia. Suojaavien rakenteiden simulointimalleissa yhtenä tärkeimpänä osana on materiaalimallinnus. Hitsatuissa rakenteissa perusaineen käyttäytymisen lisäksi täytyy tuntea myös hitsien ja hitsauksessa syntyvien vyöhykkeiden käyttäytyminen.

Liikkuvan kaluston suojaavan rakenteen suunnittelussa pyritään optimoimaan massasuojaussuhde. Optimiin päästään, kun materiaalin venymäkapasiteetti saadaan hyödynnettyä täysimääräisesti. Jotta materiaalia voidaan mahdollisimman turvallisesti kuor-

mittaa lähelle todellista murtumispistettä, täytyy sen pisteen olla tarkasti suunnittelijan tiedossa.

Terästen ja muiden metallisten materiaalien murtumista on tutkittu paljon. Perusaineille löytyy useita materiaalmalleja, jotka ottavat huomioon materiaalin murtumisen. Vaikuttaa siltä, että jo olemassa olevia menetelmiä voidaan soveltaa myös DQ-teräksiin. Tutkimusten mukaan DQ-terästen tasavienmän jälkeinen venymäkapasiteetti on perinteisillä menetelmillä valmistettuihin teräksiin nähden suurempi. Tämä ominaisuus hankaloittaa olemassa olevien mallien soveltamista, mutta alustavien tulosten mukaan ongelma on ratkaistavissa.

Vaikka perusmateriaalin vaurioitumis- ja murtumismallinnusta on tutkittu paljon, hitsatussa tilassa olevalle materiaalille tällaista tutkimusta ei ole tehty tai ainakaan julkaistu. Tällä hetkellä LUT:n Teräsrakennelaboratoriossa meneillään olevan tutkimuksen tarkoituksena on luoda menetelmä, jonka avulla myös hitsien vaurioituminen ja murtuminen saadaan mallinnettua. Ensisijaisesti tarkoituksena on pyrkiä hyödyntämään kaupallisista FE-laskentaohjelmista valmiiksi löytyviä materiaalmalleja, jotta menetelmää olisi helppo soveltaa teollisuudessa. Myös tarvittavien käytännön kokeiden lukumäärä pyritään pitämään mahdollisimman pienenä. Tutkimuksen aikana tullaan tekemän hitsauskokeita ja selvittämään hitsatessa syntyvien vyöhykkeiden ominaisuudet, kuten mikrorakenne, kovuus, lujuus ja iskusitkeys. Näitä tuloksia voidaan käyttää sellaisenaan esimerkiksi optimaalisten hitsausparametrien määrittämisessä.

Tutkimusprojektin päätavoite on kuitenkin vaurioitumis- ja murtumismallin luominen DQ-suojausteräkselle. Vaikkakin malleissa käytettävät parametrit ovat materiaaliikohtaisia, mallin luomiseen tarvittavat kokeet sekä menetelmät parametrien etsimiseen ovat luonteeltaan yleisiä ja niitä voidaan käyttää myös muille materiaaleille. Näin ollen tästä tutkimuksesta on hyötyä myös muiden DQ-teräksestä valmistettujen rakenteiden suunnittelussa ja valmistuksessa.

Nykyisin lähestulkoon kaikista rakenteista halutaan tehdä mahdollisimman kevyitä, koska se alentaa tuotteen elinkaarikustannuksia. Kuitenkaan rakenteiden turvallisuudesta ei pidä tinkiä. Valitettavasti, ainakin vielä nykyisin, lujuuden lisääminen teräkseen pienentää sitkeyttä ja hankaloittaa hitsaamista. Lujien terästen tehokas käyttö edellyttää, että suunnittelijalla ja valmistajalla on riittävästi tietoa terästen käyttäytymisestä, jotta rakenteisiin saadaan riittävästi muodonmuutoskykyä. Tätä tietotaitoa tulee lisätä ja vaalia, jotta Suomessa voidaan suunnitella ja valmistaa kilpailukyisiä tuotteita maailman markkinoille.

Riku Neuvonen
DI, IWE, R&D Engineer
Protolab Oy

VERKKOKAUPPA AVATTU!
www.hitsaus.net

TILAA NYT UUTUUSKIRJA
Hitsauksen materiaalioppi 1 ja 2

HITSAUKSEN MATERIAALIOPPI
Liikkarit Myröläinen Kauppi
OSA 1: Metallien perusteet, terästen luokittelu ja valmistus, rakenneterästen käyttäytyminen ja murtuminen ja korjaus

HITSAUKSEN MATERIAALIOPPI
Liikkarit Myröläinen Kauppi
OSA 2: Metallit ja niiden hitsattavuus

Lujat ja ohuet materiaalit keventävät risteilylaivan rakenteita

Ari Niemelä, Antti Itävuori, Heikki Remes ja Jani Romanoff

Erikoislujat teräkset ja laser-hybridihitsaus keventävät laivaa. Laivan runkopainoa on mahdollista laskea noin 15-30 prosenttia. Tämän ansiosta risteilijään on mahdollista tehdä jopa lisäkansi hytteineen.

Suomalaiset meriteknikan rakenneosaajat kehittävät uusia rakennekonsepteja telakateollisuuden kilpailukykyyn parantamiseksi pitkäjänteisen strategisen tutkimuksen avulla. Keinoina ovat rakenteiden ohentaminen ja erikoislujan teräksen hyödyntäminen. Suurin hyöty uusien terästen käytöstä tulee keveydestä ja tehokkaammasta tuotannosta. Laivan lohkoihin tarvitaan entistä vähemmän materiaalia ja hitsaamista, ja niistä voidaan tehdä suurempia kuin aiemmin. Laivan runkopainoa on mahdollista laskea noin 15-30 prosenttia. Painon kevennys on niin merkittävä, että risteilijään voitaisiin rakentaa esimerkiksi uusi hyttikansi, mikä parantaa laivan kilpailukykyä. Vaihtoehtoisesti painon kevennys sallii laivan runkomuodon uudelleensuunnittelun. Tekemällä laivasta hoikempi voidaan vähentää laivan kulkuvastusta ja pienentää siten energiankulutusta.

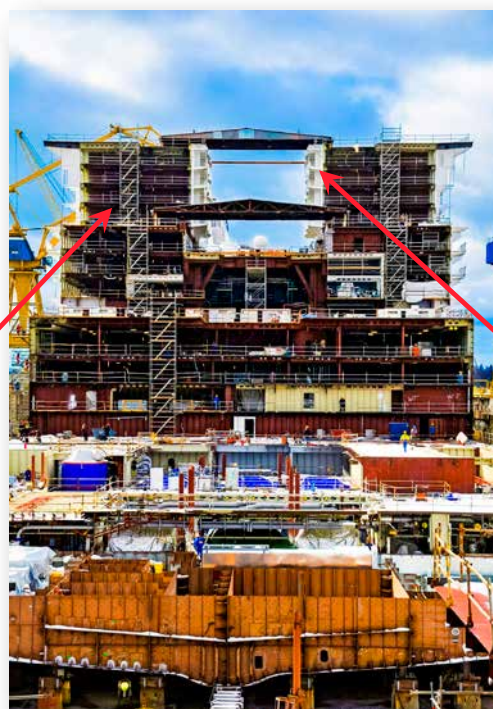
DIMECC:in MANU, BSA ja FIDiPro -tutkimushankkeiden tavoitteena on poistaa es-



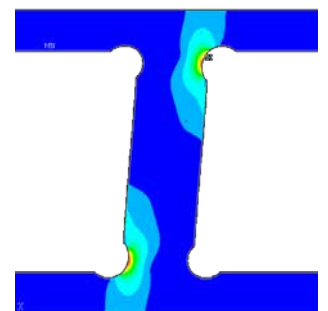
teitä kehittyneiden laivarakenteiden käytölle. DIMECC-tutkimustyössä painopisteinä ovat olleet erityisesti rakenteiden väsymislujuus ja kehittyneiden rakenteiden valmistettavuus telakan tuotantoympäristössä. FIDiPro-tutkimushankkeessa kehityskohteena ovat olleet tehokkaat lujuuslaskentamenetelmät.

Tässä artikkelissa keskitytään erityisesti DIMECC-tutkimukseen, jossa merkittävimmät yhteistyötahot ovat olleet Meyer Turku, Aalto-yliopisto ja SSAB. Tutkimus- ja kehityskohteena ovat laserhybridihitsatut ohuet kansirakenteet ja erikoislujat laipiorakenteet, kuva 1.

Ohuet kansirakenteet



Erikoislujat laipiorakenteet



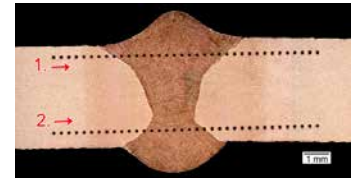
Kuva 1. Laivan runkorakenteen keventäminen DIMECC:in MANU ja BSA -hankkeissa.



Girders: T-440x7/150x10,
spacing 2560 mm

Stiffeners: HP80x5,
spacing 404 mm

Laser-hybrid welded
butt joint with smooth
weld geometry



Kuva 2. Laserhybridihitsattu kansirakenne ja siitä leikatut koekappaleet väsytyскоestukseen.

Laserhybridihitsatut ohuet kansirakenteet

Kansirakenteiden levyepäksyyden pienentäminen on yksi potentiaalinen keventämistapa. Haasteena on nykyisten luokituslaitoksen asettama minimilevyepäksyyden vaatimus, joka perustuu perinteisen kaarihitsauksen asettamiin valmistusrajoituksiin. Hyödyntämällä modernia hitsaustekniikkaa, kuten laserhybridihitsausta, voidaan valmistaa nykyistä ohuempia eli alle 5 mm paksuja levyrakenteita. Tiedonpuute ohutlevyrakenteiden lujuusominaisuuksista ja valmistettavuudesta kuitenkin estävät luokituslaitoksen sääntöjä sallimasta ohuiden levyjen käyttöä. Suurimmat haasteet liittyvät ohutlevyrakenteiden hitsausmuodonmuutoksiin. Ohuiden levyjen muodonmuutokset ja rakenteelliset jännitykset poikkeavat paksuista levyistä. Lisäksi ohuet levyt ovat herkempiä hitsin geometrisille ominaisuuksille. Väsymislujuuden mallintamiseen tarvitaan kehittyneempiä menetelmiä kuin mitä normaalisti käytetään osana suunnitteluprosessia. Kun laserhybridihitsausprosessi on asianmukaisesti opti-

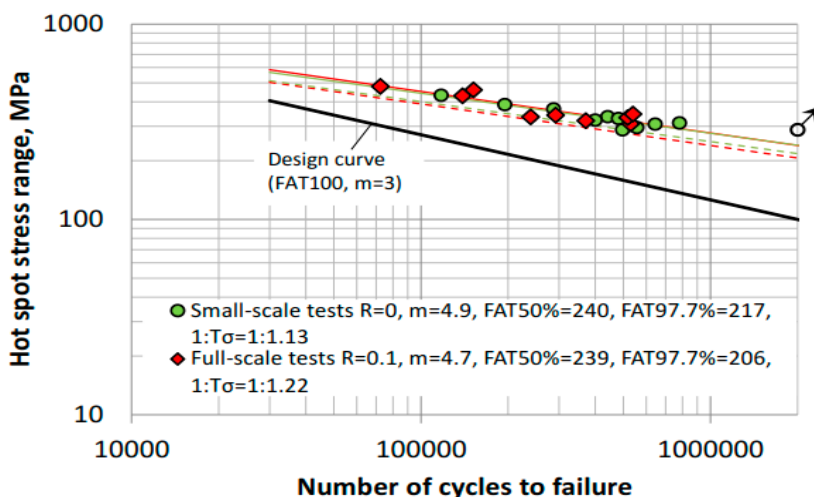
moitu, voidaan valmistaa rakenne, jolla on pienet muodonmuutokset, jouheva hitsin geometria ja siten korkea väsymislujuus.

DIMECC:in MANU-hankkeessa kehitettiin ohuiden kansirakenteiden väsymismitoitukseen ja valmistukseen tarvittavaa tietotaitoa sekä teknisesti toteuttamiskelpoinen kansirakenne. Hankkeessa suoritettiin ensimmäistä kertaa maailmassa laserhybridihitsatun kansirakenteen täysmittakaavakokeet. Tutkimus hyödynsi sekä pieniä hitsausliitoksen koekappaleita että täyden mittakaavan kansirakenteita, jotka oli valmistettu simuloiden telakan todellista kansirakenteiden valmistusprosessia, kuva 2. Ohutkansirakenteita valmistettiin Meyer Turun telakalla ja WinNova Oy:ssä. Kokeelliset ja numeeriset tutkimukset tehtiin pääosin Aalto-yliopistossa.

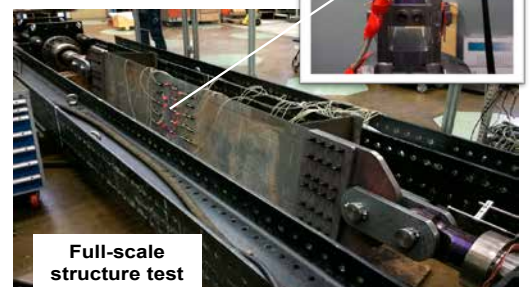
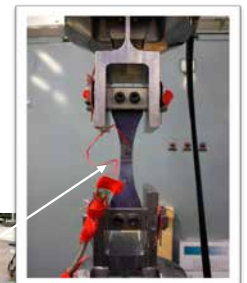
Suoritettujen ohuiden kansirakenteiden täysmittakaavakokeet sisälsivät tarkat geometriamittaukset ja väsytykokeet. Laserhybridihitsatuilla paneeleilla alkumuodonmuutos oli jopa neljä kertaa pienempi kuin, mitä aiemmin on raportoitu ohuille kaarihitsatuille sotalaivan kansirakenteille maailmalla. Kokeet ja teoreettiset laskelmat osoittivat, että vaikka muodonmuutokset ovat amplitudiltaan pieniä, niiden muodolla on merkittä-

vä vaikutus. Lisäksi rakenteen jännityksen kasvu kuormituksen funktiona voi olla epälineaarinen poiketen paksun levyn lineaarisesta käyttäytymisestä. Tämä on seurausta levyn suoristumisesta kuormituksen kasvaessa. Kun alkuperäiset muodonmuutokset ja geometrinen epälineaarisuus on huomioitu mallinnuksessa, numeeristen simulointien ja venymämittauksien yhteensopivuus oli erinomainen.

Lisäksi kuvasta 3 voidaan havaita, että pienten hitsausliitoksen koekappaleiden ja täysmittakaavarakenteiden väsymislujuudet olivat kokeissa yhtenevät. Koetuloksilla oli myös pieni hajonta, ja väsymislujuuskäyrän (SN-käyrä) kulmakerto on normaalista poikkeava eli $m = 5$. Normaalista hitsatuille liitoksille ja rakenteille kulmakerto on 3. Merkittävä havainto tutkimuksessa oli myös se, että ohuille kansilevyille mitattu väsymislujuus oli huomattavasti korkeampi kuin IIW:n (International Institute of Welding) ehdottama rakenteellisen jännityksen suunnittelukäyrä (FAT100). Tämä osoittaa, että korkea väsymislujuus on saavutettavissa myös täyden mittakaavan rakenteissa valmistuksen ja hitsin laadun ollessa kunnossa.

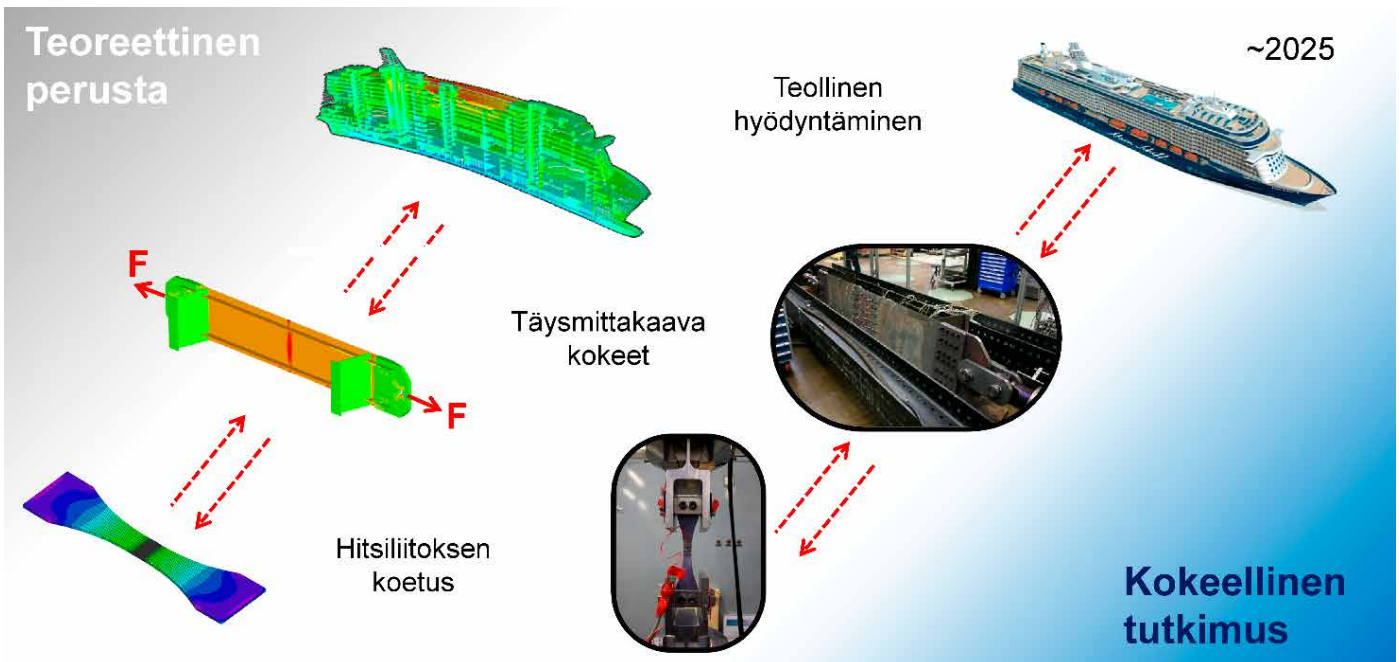


Small-scale
joint test



Full-scale
structure test

Kuva 3. Ohuenkansirakenteet väsymislujuus rakenteellisena jännityksenä esitettynä.



Kuva 4. Ohuen kansirakenteiden kehitystyön vaiheet.

DIMECC:in MANU-hankkeessa suoritettu ohuen kansirakenteen täysmittakaavatestausta on tärkeä kehitysaskel pitkäjänteisessä laivarakenteiden tutkimus- ja kehitystyössä, kuva 4. Tässä systemaattisessa kehitystyössä on samanaikaisesti huomioitu suunnittelua tukeva teoreettinen mallinnus ja valmistusteknologiaa kuvaava kokeellinen tutkimusaineisto. Ohuiden kansirakenteiden kehitystyö alkoi EU:n rahoittamassa BESST-hankkeessa, jossa muodostettiin osaaminen laadukaana hitsausliitoksen valmistukseen. Tätä tietoa hyödynnettiin onnistuneesti MANU-hankkeessa, jossa kehitettiin tarvittava ymmärrys ohuen kansirakenteen valmistuksesta ja väsymislujudesta.

Seuraavana kehitysaskelena on prototyypirakenne, joka huomioi laivan lohkorakenteen valmistuksen ja kokonaisen laivapalkin väsymismitoituksen haasteet. Koko laivarakenteen valmistusprosessi ja käyt-

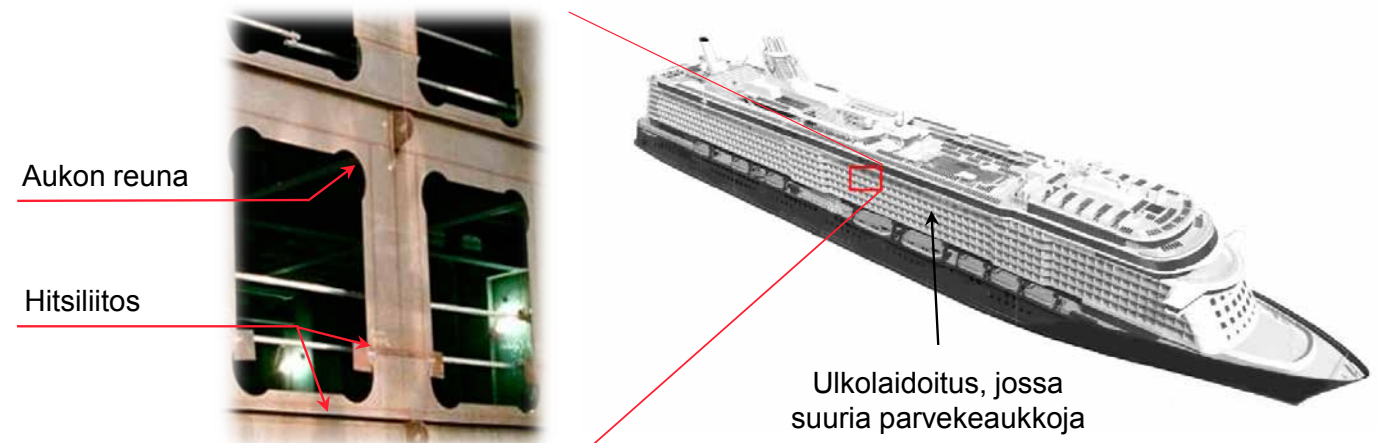
tyminen ankarissa ympäristöolosuhteissa on ymmärrettävä, jotta tutkimustulokset voidaan siirtää rakennesuunnitteluun ja sitä kautta kilpailukykyiseen tuotteeseen.

Erikoislujat laipiorakenteet

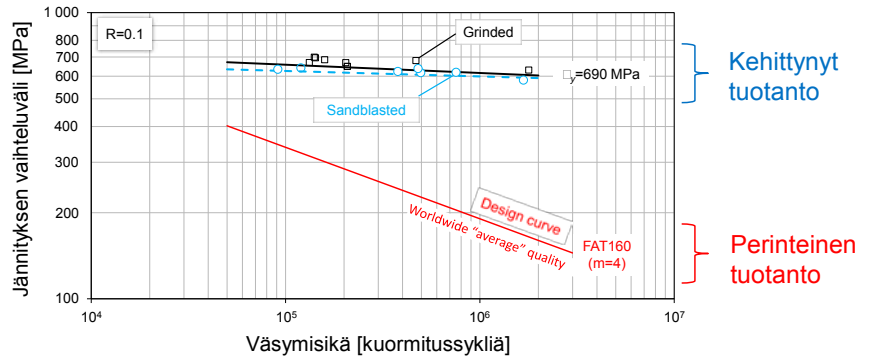
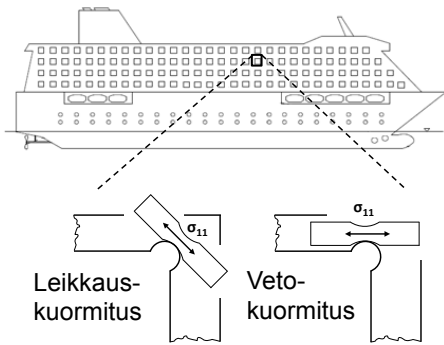
Paksun laipiorakenteen korvaaminen ohuemalla erikoislujalla laipiolla on toinen potentiaalinen toimenpide laivarakenteen keventämiseksi. Laivanrakennusala on kuitenkin varsin konservatiivinen uusien teräslaatu- jen hyödyntämisessä. Nykyisten laivojen luokituslaitoksien säännöt kattavat vain telakoilla yleisesti käytössä olevat tuotantomenetelmät ja niihin liittyvät laaturajoitukset ja eivätkä siksi salli yli 400 MPa teräksen hyödyntämistä. Erikoislujat teräkset ovat erinomaisia lujuusominaisuuksiltaan, kun

tarkastellaan laboratoriokokeiden tuloksia. Teräksien myötölujuuden ja tuotantolaadun vaikutusta rakenteen lujuuteen ei kuitenkaan täysin tunneta, kun niitä on polttoleikattu, hiottu ja hitsattu telakaympäristössä. Näissä työvaiheissa teräksen ominaisuudet ja pinnanlaatu muuttuvat. Jotta erikoislujia teräksiä voidaan hyödyntää nykyistä paremmin, tarvitaan korkeaa tuotannon laatua ja sen mahdollistavaa modernia tuotantotekniikkaa. Tätä varten pitää luoda uusi tuotantotapa ja tämän tavan toimivuus pitää todistaa vaikkuttavasti luokituslaitoksille. Teoreettinen ja kokeellinen tutkimus on välttämätöntä, jotta tekniset riskit lujuusmitoituksessa ja tuotannossa voidaan hallita.

DIMECC:in BSA-hankkeessa kehitettiin erikoislujan teräksen (S690, myötölujuus 690 MPa) käyttöä mahdollistavia toimenpiteitä laivanrakennuksessa. Projektissa keskityttiin väsymiskriittisiin rakenneksityiskoh-



Kuva 5. Väsymiskriittiset rakenneksityiskohdat erikoislujassa laipiorakenteessa.



Kuva 6. Leikatun levyn S690-teräksen reunan väsymislujuus kehittyneen tuotantoprosessin jälkeen. Väsytysoetuloksia on verrattu nykyiseen mitoitus käyrään (FAT160).

tiin, joita ovat leikatun levynaukon reuna ja sen läheisyydessä oleva hitsi, kuva 5. Koe-kappaleet on tehty Meyer Turun telakan tuotantoprosesseilla ja tuotantolinjoilla. Aalto-yliopisto on vastannut väsytysoikeista ja teoreettisesta tutkimuksesta.

Kun korkealujat teräslevyt on toimitettu telakalle, ne polttoleikataan määrämittaan ja niihin tehdään tarvittavat aukot. Ristely-laivassa nämä aukot muodostavat geometrisen epäjatkuvuuden ja jännityskeskittymän. Perinteisesti levynreunan pinnanlaatu polttoleikkauksen jälkeen on karkea ja siihen jää pintavirheitä. Tämän johdosta nykyinen väsymismitoitus ei salli erikoislujan teräksen hyödyntämistä. LIGHT-hankkeessa osoitettiin, että lisäämällä prosessiin väsymiskriittisen alueen hionta ennen hiekkapuhallusta ja maalausta saadaan väsymislujuutta kasvatettua merkittävästi, kuva 6. Merkittävää on, että tämä käsittely voidaan suorittaa telakkaolosuhteissa ja siten että kohonnut väsymislujuus säilyy myös hiukkapuhalluksen jälkeen. Kuten kuvasta 6 voidaan havaita, laivan runkorakennetta kuvaavien koesauvojen väsymislujuus oli merkittävästi korkeampi kuin nykyinen mitoituskäyrä (FAT160). Näiden tuloksien hyödyntämiseksi laaja-alaisemmin BSA-hankkeessa suoritettiin lisäkokeita muun muassa suurien kuormitusyksiöillä eri alueella. Laivan suunnitteluikä on 20-25

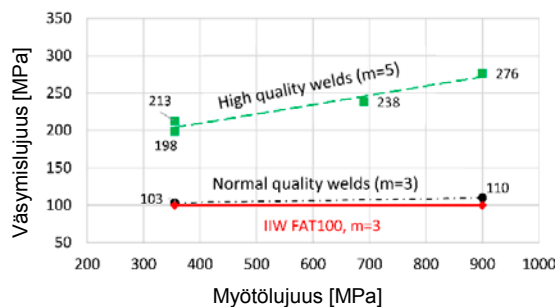
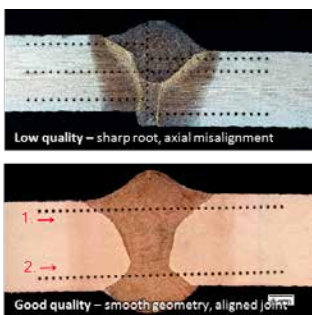
vuotta, jonka aikana laiva kohtaa noin 100 miljoonaa kuormitusyksiötä.

Erikoislujan laidoitus- tai laipiorakenteessa hitsatut liitokset voivat olla myös väsymiskriittisiä. Periteisesti hitsattujen rakenteiden oletetaan sisältävän alkusärön kaltaisia hitsausvirheitä, jolloin materiaalin myötölujuuden nostolla ei ole vaikutusta liitoksen väsymislujuuteen, kuva 7 (IIW FAT100 & Normal quality welds). DIMECC:in BSA-hankkeessa kehitettiin uusia menetelmiä hitsatun erikoislujan laivarakenteen valmistukseen ja väsymislujuuden mallintamiseen. Suoritettujen kokeellisten ja teoreettisten tutkimusten perusteella voitiin osoittaa, että laadukkaalla hitsauksella voidaan saada liitokselle huomattavasti nykyisiä mitoitusarvoja parempi väsymislujuus, kuva 7 (High quality welds). Saavutettu väsymislujuuden kasvu on funktio teräksen myötörajan mahdollista erikoislujien terästen paremman hyödyntämisen jopa hitsatussa tilassa. Vaihtoehtoisesti normaali-laatuisten hitsin väsymislujuutta voidaan parantaa jälkikäsittelyllä. Hyvän laadun hyödyntäminen vaatii kuitenkin nykyistä parempia menetelmiä väsymislujuuden mallintamiseen ja hitsin geometrian laadun kuvaamiseen. Tuloksien hyödyntäminen lopputuotteessa vaatii myös telakalle sopivan valmistusteknologian kehittämistä ja isomman mittakaavan koerakenteita.

Kirjallisuutta

- Liinalampi, S, Remes, H, Lehto, P, Lillemäe, I, Romanoff, J, Porter, D. Fatigue strength analysis of laser-hybrid welds in thin plate considering weld geometry in microscale, International Journal of Fatigue, 2016; 87: 143-152.
- Lillemäe, I, Remes, H, Liinalampi, S, Antti Itävuo, A. Influence of weld quality on the fatigue strength of thin normal and high strength steel butt joints. Welding in the World, 2016; 60:731-740.
- Lillemäe, I, Liinalampi, S, Remes, H, Itävuo, A, Niemelä, A. Fatigue strength of thin laser-hybrid welded full-scale deck structure. International Journal of Fatigue, 2017;95:282-292.
- Mikkola, E, Remes, H; Allowable stresses in high-frequency mechanical impact (HFMI)-treated joints subjected to variable amplitude loading, Welding in the World, 2016.
- Remes, H., Peltonen, M., Seppänen, T., Kukkonen, A., Liinalampi, S., Lillemäe, I., Lehto, P., Hänninen, H., Romanoff, J., Nummela, S., Fatigue strength of welded extra high-strength and thin steel plates, Proceedings of MARSTRUCT 2015, Southampton, UK, 2015, pp. 301-308.
- Remes, H, Romanoff, J, Lillemäe, I, Frank, D; Liinalampi, S, Lehto, P, Varsta P. Factors affecting the fatigue strength of thin-plates in large structures. International Journal of Fatigue, 2016.
- Yıldırım, H.C, Marquis, G; Sonsino, C.M. Lightweight design with welded high-frequency mechanical impact (HFMI) treated high-strength steel joints from S700 under constant and variable amplitude loadings, International Journal of Fatigue, 2016; 91:466-474.

Ari Niemelä ja Antti Itävuo
Meyer Turun telakka, Turku
ja
Heikki Remes ja Jani Romanoff
Aalto-yliopisto, Otaniemi



Kuva 7. Hitsin muodon vaikutus väsymislujuuteen myötölujuuden funktiona.

Nopeutta tuotekehitysprosessiin digitaalisella väsymissimuloinnilla

Arto Vento, Jarkko Laine, Antti Raskinen, Timo Björk, Essi Huttu ja Mika Siren



Nopea tuotekehitysprosessi luo yritykselle kilpailuetua. Mitä nopeammin uusia kehittyneempiä tuotteita pystytään tuomaan markkinoille, sitä paremmassa asemassa yritys on suhteessa kilpailijoihin. Modernit digitaaliset simulointityökalut voivat nopeuttaa väsymiskriittisten rakenteiden suunnittelu- ja tuotekehitysprosessia konepajateollisuudessa.

DIMECC MANU -ohjelmassa tehdyn tutkimus- ja kehitystyön tuloksena kehitettiin digitaalinen mallinnustyökalu Sandvik Mining and Construction Oy:n kaivoslastarin hitsatun puomirakenteen väsymislajuuden simulointiin.

Digitaalisen mallinnuksen avulla pystytään simuloimaan erilaisten ratkaisujen vaikutusta lopputuotteeseen. Tällaisten työkalujen merkitys on suuri erityisesti pitkän käyttöiän ja korkean toiminnallisen ja rakenteellisen luotettavuuden hitsattujen rakenteiden väsymissuunnittelussa. Väsymislajuuden osoittaminen kokeellisesti rakennetasolla on aikaa vievää ja kallista, joten luotettavilla simulointityökaluilla voidaan parhaimmillaan sekä lyhentää suunnittelu-aikaa että pienentää suunnittelukustannuksia.

Lujat teräkset tarjoavat merkittäviä etuja konepajateollisuudelle kevyempien ja kestävämpien rakenteiden kehitystyössä. Hitsattujen rakenteiden väsymislajuuteen vaikuttavien tekijöiden ymmärtäminen on kuitenkin erityisen tärkeää uusien lujien terästen kohdalla, sillä niiden käyttöön ja hitsattavuuteen liittyy myös haasteita. Jotta lujien terästen tarjoamat mahdollisuudet voidaan hyödyntää konepajateollisuudessa, tarvitaan lisää ymmärrystä näiden terästen hitsien ja niistä valmistettujen rakenteiden väsymislajuudesta.

DIMECC MANU -ohjelmassa lujien terästen käytettävyyttä sekä uusia hitsausmene-

telmiä ja hitsattujen osien väsymislajuutta tutkittiin Sandvik Mining and Constructionin kaivoskäyttöön suunnitellun lastarin puomirakenteessa. Lujan S700-rakenneteräksen, jonka myötölujuus on 700 MPa, käyttöön otuudessa puomirakenteessa mahdollistaa kevyemmän ja kestävämmän puomirakenteen, mikä vähentää huomattavasti puomin painoa ja lisää sen kuormakapasiteettia.



Kuva 1. Lastarin robottihitsattua prototyyppipuomia viimeistellään käsinhitsauksella Sandvik Mining and Constructionin Turun tehtaalla.

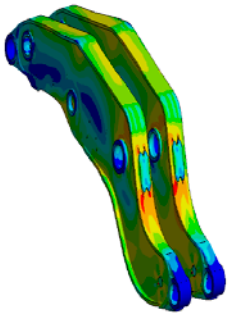
Kokonaisuudessaan puomin painoa pystyttiin vähentämään 700 kg, joka on 25 % puomin kokonaismassasta. Uusi kevyempi ja kestävämpi rakenne mahdollistaa myös suurempien painokuormien nostamisen, ja samanaikaisesti kevyempi rakenne parantaa lastarin polttoainetaloutta. Uusi puomirakenne mahdollistaa lisäksi hitsattavien osien määrän vähentämisen ja robottihitsauksen osuuden kasvattamisen puomin valmistuksessa. Nämä tekijät vaikuttavat suoraan puomin valmistuskustannuksiin.

Projektin puitteissa Sandvik valmisti kolme lastarin prototyyppipuomia täyden mittakaavan kokeisiin, kuva 1. Kaksi puomia testattiin käyttöolosuhteissa kaivoskäytössä ja Sandvikin omalla testiradalla, ja kolmas toimitettiin täyden mittakaavan laboratoriokokeeseen Lappeenrannan teknillisen yliopiston Teräsrakenteiden laboratorioon.

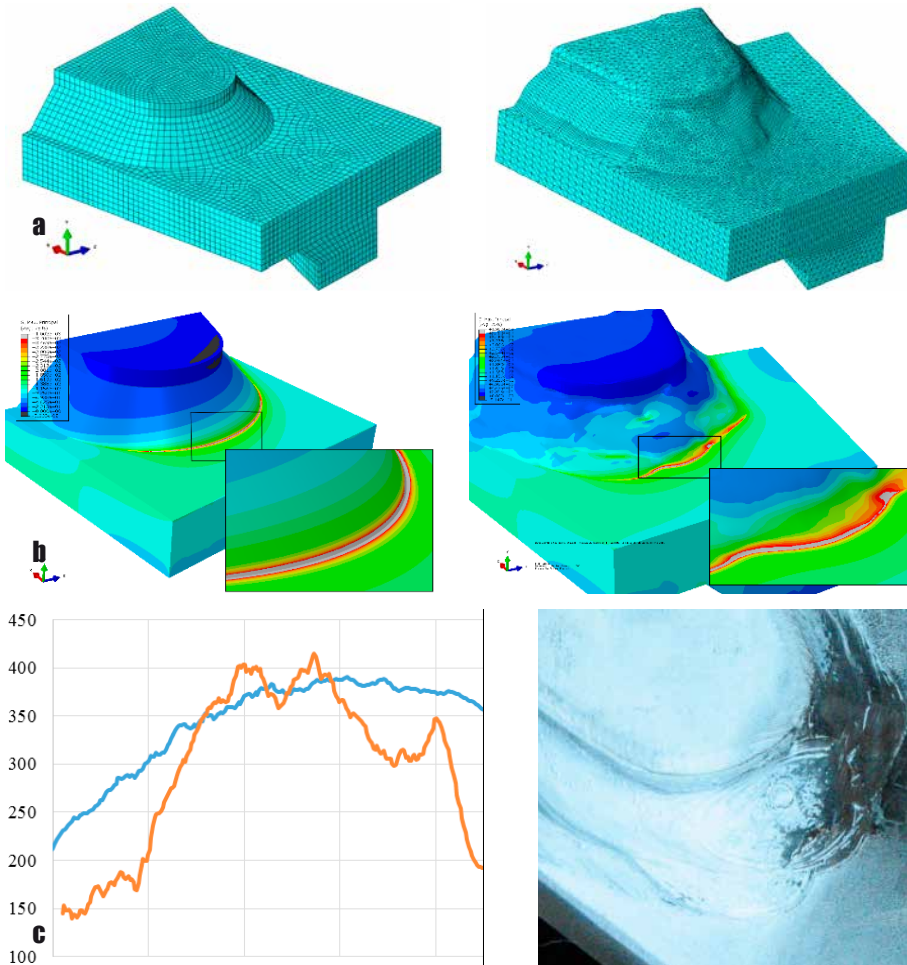
Osana uuden puomirakenteen suunnittelua kehitettiin myös digitaalinen simulointityökalu, jonka avulla lujista teräksistä hitsattujen osien väsymislajuutta voidaan analysoida. Simulointityökalu perustuu hitsin väsymislajuuden mallinnukseen. Kehitetyn puomirakenteen täyden mittakaavan väsymistestauksen yhteydessä kriittisille hitseille rakennettiin FEM-malli ja kehitettiin väsymisjärjen analyysimalli. Mallien avulla pystyttiin simuloimaan lujista teräksistä hitsattujen rakenteiden mekaanisia ominaisuuksia, ennen kaikkea väsymiskäyttämistä. Kehitetyn FEM-mallin ennustamat murtumakohdat ja täyden mittakaavan väsymistestauksessa todetut vaurioitumiskohdat vastasivat hyvin toisiaan, kuva 2. Tämä osoitti, että kehitetyt digitaaliset väsymislajuuden simulointityökalut toimivat ja simulointityökalujen avulla saatavat tulokset vastaavat todellisista käytäytymistä kuormitustilanteessa.

FEM-analyseissä tyypillisesti käytettävää ideaalista hitsigeometrian jännitysjakamaa verrattiin LUTissa todelliseen mitattuun profiiliin tehollisen lovijännityksen menetelmällä (Effective Notch Stress, ENS). Analyysi tehtiin Antti Raskisen diplomityössä (Digitaalisen valmistuksen vaikutus hitsatun rakenteen väsymiskestävyyteen, LUT 2015) puomin vahvikelevyn yksityiskohdalle, kuva 3.

Kuvan 3 perusteella ideaaliselle ja todelliselle hitsin rajaviivan geometrialle määritetyt mitoittavan kohdan jännitysten (maksimijännitykset) ENS-jakaumat poikkeavat toisistaan vain vähän. Tämä johtuu siitä, että ENS-menetelmässä fiktiivinen hitsin rajaviivan pyö-



Kuva 2. Prototyypipuomin FE-mallilla simuloidut jännitykset väsytyksessä (vas.) ja puomin täyden mittakaavan väsytyksokijärjestely LUT Teräsrakenteiden laboratoriossa (oik.).



Kuva 3. Rakennedetaljin (a) ideaaliseen (vas.) ja todelliseen (oik.) hitsigeometriaan perustuva FE-malli, (b) vastaavat ENS-jakaumat ja (c) hitsin rajaviivan ENS-jakauma (sininen = ideaali, oranssi = mitattu) ja rakennedetaljin mitattu 3D-malli.

ristys $r = 1$ mm on määrävä tekijä, jolloin muilla geometrisillä tekijöillä ei ole niin suurta vaikutusta. Tulos on tärkeä ajatellen jatkokehitystyötä paikallisen geometrian huomiointiksi aiempaa tarkemmin ja tätä kautta analyysien tarkkuuden parantamiseksi.

Johtopäätökset

Modernit digitaaliset mallinnus- ja simulointityökalut, kuten kehitetty väsymislujuuden

simulointimenetelmä, tarjoavat mahdollisuuden lyhentää tuotekehityksen läpimenoaikaa. Mallinnus- ja simulointityökalujen avulla voidaan digitaalisesti testata erilaisten ratkaisujen toimivuutta lopputuotteessa jo ennen prototyyppien valmistamista. Lisäksi mallinnustyökalujen avulla voidaan päästä osittain tai jopa kokonaan eroon paljon aikaa ja resursseja kuluttavista täydenmittakaavan rasituskokeista. Tämä mahdollistaa nopeammat tuotekehityssykliä ja uusien tuoteminaisuuksien nopean testaamisen. Tuotekehitysprosessin nopeus ja uudet tuote-

minaisuudet puolestaa lisäävät suomalaisen konepajateollisuuden kilpailukykyä kansainvälisillä markkinoilla.

Väsymislujuuteen vaikuttavien tekijöiden ja mekanismien ymmärtäminen ja niiden mallintaminen on erityisen tärkeää lujien terästen käyttöönoton ja kevyempien konerakenteiden mahdollistamiseksi. Polttoainekustannusten nousun ja lisääntyneen ympäristötietoisuuden vuoksi työkaluvalmistajat pyrkivät kehittämään entistä kevyempiä koneita. Uudet lujat teräslaadut mahdollistavat osaltaan näiden tavoitteiden saavuttamisen. Lujat teräkset asettavat kuitenkin haasteita myös hitsausprosesseille. Jotta lujien terästen mahdollisuudet voidaan hyödyntää konepajateollisuudessa, tarvitaan digitaalisia työkaluja hitsattujen rakenteiden suunnitteluun ja niiden kuormituskäyttämisen, esimerkiksi väsymislujuuden mallintamiseen.

Yhteenveto

Digitaaliset väsymislujuuden simulointityökalut tarjoavat mahdollisuuden nopeuttaa merkittävästi yritysten tuotekehityssykliä, samalla säästään rahaa ja nopeuttavat uusien tuotteiden lanseeraamista markkinoille. Lisäksi simulointi- ja mallinnustyökalujen avulla eri tuotevariaatioita voidaan analysoida digitaalisesti tuotekehitysprosessin aikana. Tämä mahdollistaa uusien entistä parempien tuoteminaisuuksien kehittämisen nopeammin ja kustannustehokkaammin. Kehitetyt työkaluja tullaan jatkossa hyödyntämään Sandvikin tuotekehitysprosessissa.

DIMECC MANU -ohjelmassa kehitettyjen mallinnustyökalujen keskeisimmät hyödyt voidaan mitata ennen kaikkea lyhentyneenä tuotekehitysaikana ja tarkempuna suunnitteluna. Kuten puomirakenteen esimerkki osoittaa, digitaalisten työkalujen avulla tehtävä tarkempi suunnittelu mahdollistaa materiaali- ja kustannussäästöt tuotteen valmistusvaiheessa. Lisäksi tarkemmalla suunnittelulla voidaan vaikuttaa tuotteen elinkaarikustannuksiin. Esimerkiksi uusi kevyempi puomirakenne vähentää koneen polttoainekustannuksia tai toisaalta parantaa koneen käyttökuormaa huomattavasti. Digitaalisten suunnittelutyökalujen avulla pystytään parempaan hitsattujen osien väsymislujuuden suunnitteluun, mikä näkyy parempina ja kestävimpinä lopputuotteina. Kestävämmät tuotteet mahdollistavat lopputuotteen turvallisen ja keskeytymättömän käytön ja pienentävät tuotteen elinkaarikustannuksia entisestään.

Arto Vento ja Jarkko Laine, Sandvik Mining and Construction Oy
Antti Raskinen ja Timo Björk, LUT Teräsrakenteiden laboratorio
Essi Huttu, Dimecc Oy
Mika Sirén, VTT Oy

Termisellä ruiskutuksella monitoiminnallisia pinnoiteratkaisuja vaativiin teollisuuden käyttökohteisiin

Heli Koivuluoto ja Ulla Kanerva

DIMECC:n Hybrids-tutkimusohjelmassa on tehty laaja-alaisesti termisen ruiskutuksen ja pinnoitteiden kehitystyötä tiiviissä yhteistyössä teollisuuden ja tutkimuslaitosten välillä. Projektipartnerit kattavat koko arvoketjun aina pinnoitteiden raaka-aineista, pinnoitteiden valmistamiseen, tutkimukseen ja loppukäyttäjii asti, mikä onkin projektin yksi vahvuus. Tutkimus on erityisesti keskittynyt kehittämään ja parantamaan pinnoiteratkaisuja vaativiin käyttökohteisiin, jotka puolestaan tuovat erityisvaatimuksia materiaaleille, kulumis- ja korroosionkestävyydelle sekä käyttöiälle ja toimintakyvyille.

Johdanto

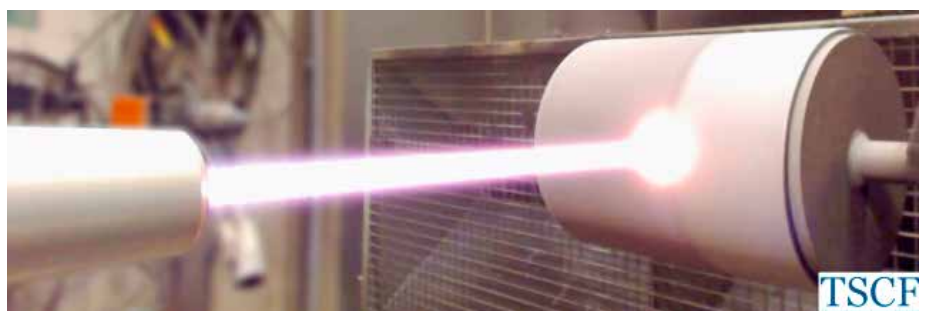
Terminen ruiskutus on suomalaisessa teollisuudessa yleisesti käytössä oleva menetelmä, jolla valmistetaan kappaleiden pintaan 100-1000 µm paksuisia pinnoitteita. Pinnoitteiden tavoitteena on muokata alkuperäisen kappaleen pinta paremmin käyttöolosuhteisiin sopivaksi tai korjata jo vioittunut pinta uudelleen käyttöön. Tyypillisiä käyttökohteita ovat kappaleiden pinnat, jotka altistuvat voimakkaalle kulumiselle ja korroosiolle. Pinnoitteen avulla mahdollistetaan varsinaisen kappaleen valmistaminen edullisemmasta ja monesti myös helpommin työstettävästä materiaalista. Lisäksi tarvittavat suojaominaisuudet saadaan kappaleeseen pinnoitteen avulla. Pinnoitusmenetelmä valitaan pinnoitettavan materiaalin ja haluttujen pinnoiteominaisuuksien perusteella. Tyypillisiä termisen ruiskutuksen menetelmiä ovat plasma-, suurnopeusliekki-, liekki-, valokaari- ja kylmäruiskutus, joiden avulla pystytään valmistamaan pinnoitteita keraameista, kova-metalleista ja metalleista.

Termisen ruiskutuksen ja niistä valmistettujen pinnoitteiden tutkimus- ja kehitystyötä on tehty laaja-alaisesti DIMECC:n Hybrids-tutkimusohjelman P2-projektissa "Multifunctional thick coatings and composites", jossa

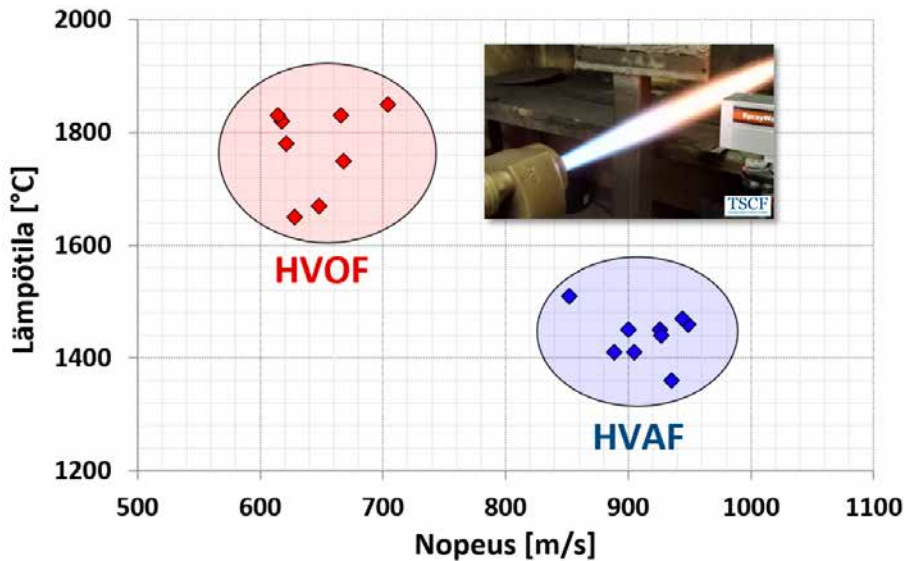
on mukana 11 yrityspartneria aina raaka-aine valmistajasta pinnoitteiden loppukäyttäjii saakka (Valmet Technologies, Metso Flow Control, Abloy, Kuopion Konepaja, Virtasen Koneistamo, Outotec, Telatek Service, Kokkola LCC, Oseir, Millidyne ja TKM TTT Finland) ja kolme pitkään termistä ruiskutusta ja siihen liittyviä ilmiöitä tutkinutta tutkimuspartneria, Tampereen teknillinen yliopisto (TTY), Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy ja Aalto-yliopisto. Lisäksi projektin aikana vuonna 2015 TTY:n ja VTT:n termisen ruiskutuksen kokeellinen toiminta yhdistyivät yhdeksi vahvaksi kokonaisuudeksi nimeltään Thermal Spray Center Finland (TSCF), jonka

seurauksena kaikki termisen ruiskutuksen laitteet siirrettiin yksin tiloihin TTY:lle. Tutkimusvoimien yhdistäminen ja TSCF-kokonaisuus edesauttavat kansainvälisen painoarvon kasvattamista ja takaavat laajemmat yhteistyömahdollisuudet.

Projektille asetettuja haasteellisia tavoitteita lähdettiin ratkaisemaan laajalla ja kokeneella konsortiolla. Vaikkakin termisesti ruiskutettuja pinnoitteita käytetään suomalaisessa teollisuudessa paljon, liittyy pinnoitteisiin edelleen haasteita, joita projektin puitteissa on pyritty ratkaisemaan. Vaativien käyttökohteiden tuomia vaatimuksia esimerkiksi materiaaleille, kulumis- ja korroosionkestävyydelle sekä käyttöiälle ja toimintakyvyille voidaan kehittää ja parantaa uusien pinnoiteteknisten ratkaisuiden avulla. Projektissa on erityisesti keskitytty termisen ruiskutuksen uusimpiin korkeakineettisiin ruiskutusmenetelmiin yhdessä pinnoitemateriaalikehityksen kanssa ja pinnoitteiden ominaisuuksien syvälliseen tutkimukseen parhaiden sovelluslähtöisten ratkaisuiden saavuttamiseksi. Kuvassa 1 esimerkkinä yksi uusista korkeakineettisistä termisen ruiskutuksen menetelmistä, HVAF (High-Velocity Air-Fuel) -ruiskutusmenetelmä.



Kuva 1. HVAF-suurnopeusliekkiruiskutuksella valmistetaan pinnoitetta sylinterikappaleen pintaan. Lähde: TTY.



Kuva 2. Suurnopeusliekkiruiskutusmenetelmien (HVOF (High-Velocity Oxygen-Fuel)- ja HVOF (High-Velocity Air-Fuel) -prosessit) partikkelinopeudet ja -lämpötilat mitattuna diagnostiikkalaitteen avulla. Lähde: TTY.

Kokonainen arvoketju mukana kehityksessä

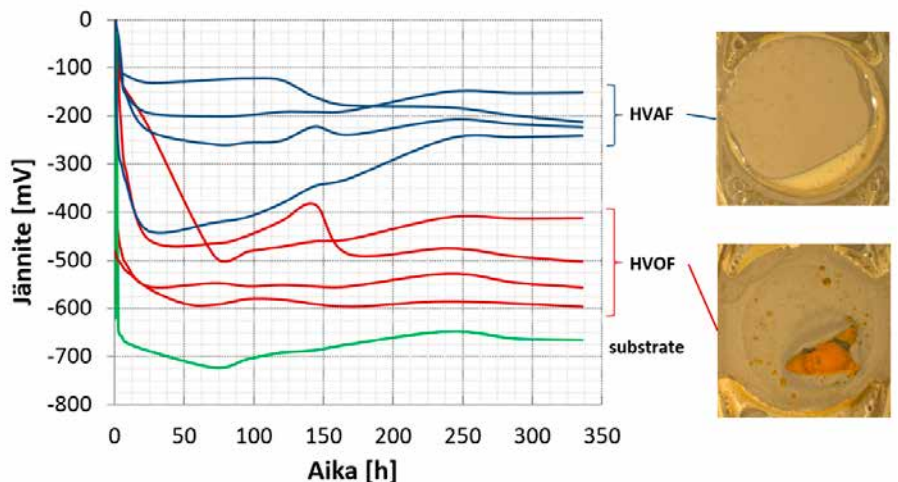
Projektin ehdoton vahvuus on projektipartnereiden muodostama arvoketju, jossa kaikki lopullisen pinnoitteen ominaisuuksiin vaikuttavat tekijät ja loppukäyttäjät ovat edustettuina. Oikeanlaisen suorituskyvyn omaavan pinnoitteen valmistamisessa tarvitsee huomioida materiaalivalinnan lisäksi laadukas raaka-aine, ruiskutusprosessin toimivuus ja lopullisen pinnoitteen ominaisuudet. Jokaisen osa-alueen tulee olla hallinnassa parhaan lopputuloksen saavuttamiseksi ja tämä toteutuu hyvin tässä konsortiossa.

Pinnoitusraaka-aineen valmistajan roolissa projektissa on mukana Millidyne. Millidynen mukana olo on mahdollistanut myös kokeellisten ei-kaupallisten materiaalien testaamisen ketterästi projektin aikana. Projektissa ideoiduista materiaali-koostumuksista on valmistettu laadukkaat pinnoitusraaka-ainejauheet osaavissa käsissä teollisen mittakaavan laitteistolla. Jatkossa tämä helpottaa oleellisesti myös projektin aikana syntyvien uusien materiaali-innovaatioiden kaupallista hyödynnettävyyttä.

Pinnoitusprosessien moniosaajina projektia ovat vahvistaneet Kuopion Konepaja, Virtasen Koneistamo, Telatek Service, TKM TTT Finland ja Valmet Technologies. Kyseiset yritykset ovat valmistaneet pinnoitteita omiin tai alihankintana tehtäviin komponentteihin vuosikymmenien ajan. Heidän osaamistaan ja ymmärrystä ruiskutusprosesseista ja pinnoiteloppukäyttäjien tarpeista on hyödynnetty suunniteltaessa uusia materiaaliratkaisuja ja ruiskutustestejä. Ruiskutusprosessin monitoroinnin on projektille mahdollistanut Oseirin osallistuminen. Diagnostiikkatyökalu lisää ruiskutuksen aikana tapahtuvien ilmiöiden ymmärtämistä ja toimii laadunvarmis-

tusvälineenä. Diagnostiikkalaitteiden avulla pystytään seuraamaan ja mittaamaan partikkelien nopeuksia ja lämpötiloja, joilla on ratkaiseva vaikuttavat loppupinnoitteen ominaisuuksiin, kuva 2.

Projektin haastavat pinnoiteominaisuuksiin ja pintojen toimintakykyyn liittyvät tavoitteet on asetettu loppukäyttäjien kuten Valmet Technologiesin, Metso Flow Controllin ja Abloyn näkökulmista. Yhteistyö projektipartnereiden välillä on ollut toimivaa ja jo projektin suunnittelu- että toteutusvaiheessa käyty avoin keskustelu on mahdollistanut tavoitteiden pysymisen haastavana ja yrityksiä hyödyttävänä läpi projektin. Lisäksi projektin tutkimuspartnerien rooli on merkittävä. TTY:llä, VTT:llä ja Aallolla on kaikilla pitkä historia pinnoitetutkimuksen saralla. Jokainen tutkimuspartneri toi oman roolinsa ja vahvuutensa konsortioon täydentäen toinen toiansa. TTY on keskittynyt pinnoitteiden



Kuva 3. Suurnopeusliekkiruiskutuksella valmistettujen kovametallipinnoitteiden korrosio-/lepotentiaalikäyttäytyminen suolavedessä. HVOF-prosessilla voidaan valmistaa tiiviimpiä ja korroosiota kestävämpiä kovametallipinnoitteita. Lähde: TTY.

valmistamiseen eri termisen ruiskutuksen menetelmillä ja näiden prosessien optimointiin sekä pinnoiteominaisuuksien tutkimiseen aina rakennekaraktisoinnista kulumis- ja korrosio-ominaisuuksien määrittämiseen. VTT on puolestaan keskittynyt materiaalikehitykseen ja kokeellisten jauheiden valmistamiseen sekä mallintamiseen. Aallossa on tutkittu erilaisia materiaali-koostumuksia ja niiden vaikutusta ominaisuuksiin. Tutkimusyhteistyö kattaa koko ketjun aina pinnoitelähtöaineiden valmistamisesta, pinnoitusprosessien optimoinnista, pinnoitteiden ominaisuuksien ja toiminnallisuuksien määrittämisestä ja kehittämisestä mallinnukseen ja sen hyödyntämiseen kehitystyössä.

Väitöstyötutkijat pureutuvat pintaa syvemmälle

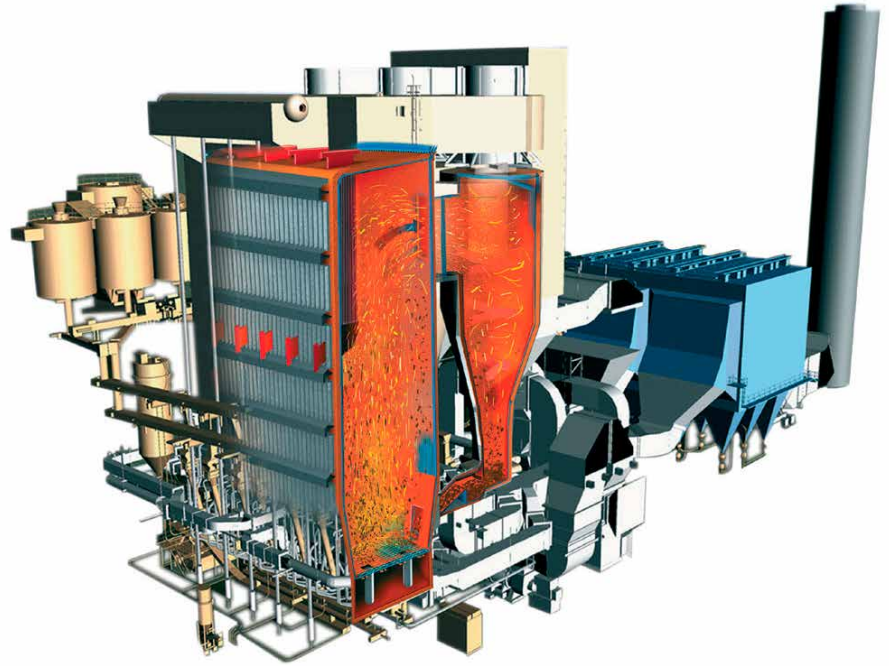
Projektissa on käynnissä neljä väitöstyötutkimusta termisen ruiskutuksen aihealueen parissa, mikä tuo osaltaan syvällistä tieteellistä ymmärrystä projektin sovelluslähtöisiin haasteisiin. Ville Matikainen (TTY) keskittyy tutkimuksessaan korkeakineettisesti ruiskutettujen kovametallipinnoitteiden prosessioptimointiin. Kuvassa 3 on esimerkiksi ruiskutusprosessien vaikutuksesta kovametallipinnoitteiden korrosionkestävyyteen. Jarkko Kiilakosken (TTY) tutkimusaiheena on termisesti ruiskutettujen keraamipinnoitteiden vauriosietoisuuden parantaminen. Davide Fantozzi (TTY) keskittyy pinnoitteiden korrosio-ominaisuuksiin energiantuotantoon liittyvissä olosuhteissa. Tatu Pinomaan (VTT) tutkimusaiheena puolestaan on termisesti ruiskutettujen pinnoitteiden mallinnus. Nämä kaikki neljä väitöstyötutkimusta yhdessä projektin muun tutkimuksen kanssa ovat lisänneet pinnoite- ja materiaalitietämystä, ymmärrystä ruiskutusprosesseista sekä sovelluslähtöisen testaamisen kautta

pinnoiteominaisuuksista ja erityisesti eri osaluokkien vaikuttavista tekijöistä pinnoitteita tarvittavien ominaisuuksien kehittämiseksi.

Loppukäyttäjän näkökulma – Valmet Technologies

Valmet Technologies on projektissa mukana pinnoitteiden valmistajana ja loppukäyttäjän roolissa. Termisesti ruiskutettuja pinnoitteita on käytetty paperikoneiden komponenteissa jo pitkään, ja esimerkiksi telapintoihin pinnoitteet valmistetaan pääsääntöisesti itse. Valmetilla on myös oma tuotekehitystiimi, joka työskentelee kovapinnoitteiden prosessien ja materiaalien kehityksen parissa parantaakseen lopputuotteiden suorituskykyä.

Paperikoneen telapintojen ominaisuusvaatimukset riippuvat telan lopullisesta sijainnista paperikoneessa. Valmistettavan paperituotteen laatu ja asiakkaan käyttämät raaka-aineet tuovat omat haasteensa sopivan pinnoiteratkaisun valintaan. Monessa tilanteessa pinnoite altistuu sekä kulumiselle että korroosiolle. Niin sanotun kemiallisesti kestävä pinnoiteratkaisun suunnitteleminen ja valmistaminen kaikkein vaikeimpiin kulumis- ja korroosiokohteisiin on haastavaa. Valmetin osalta projektin tavoitteena on ollut löytää pinnoiteratkaisuja, jotka ovat vikasietoisia ympäristöissä, joissa yllättävät mekaaniset kuormitustilat ja kemialliset olosuhteet kuormittavat komponentin pintaa. Projektin aikana on testattu modifioituja pinnoitusraaka-ainepölyjä ja uusia ruiskutusmenetelmiä uusien pinnoiteratkaisujen löytämiseksi. Tulosten perusteella on suunniteltu uudet ja kestävämmät pinnoiteratkaisut kalanteritelalle ja puristinosan



Kuva 5. Periaatekuva CFB-kattila. Lähde: Valmet Technologies.

keskitelalle, kuva 4.

Projektissa tutkittiin myös mahdollisuutta hyödyntää uusia pinnoiteratkaisuja Valmetin kiertoleijupetikattiloissa (Circulating Fluidized Bed boiler, CFB-kattila), kuva 5. Haasteena kattilasovelluksessa on paineestiamateriaalien kestävyys olosuhteissa, joissa materiaali altistuu sekä korroosiolle että eroosiolle. Näissä kohteissa käytetään pinnoitteita ja muurauksia suojaamaan painerunkoa. Termisesti ruiskutettujen pinnoitteiden materiaalivalinta on haasteellista varsinkin biopolttoaineita ja jäteperäisiä polttoaineita polttavissa kattiloissa johtuen käytettävien polttoaineiden epäpuhtauksista. Projektin aikana useampia pinnoitekoostumuksia tes-

tattiin laboratorio- ja sovellusmittakaavassa. Tulosten avulla ymmärrys pinnoiteratkaisujen tarjoamiin mahdollisuuksiin on noussut uudelle tasolle. Tämä helpottaa jatkossa oikean materiaalin ja pinnoitusmenetelmän valintaa kattilan eri komponentteihin.

Yhteenveto

Termisen ruiskutuksen kehitystyötä on tehty tiiviissä tutkimuslaitosten ja yritysten välisessä yhteistyössä DIMECC:n Hybrids-tutkimusohjelmassa. Projektissa on kehitetty uusia pinnoitemateriaaleja käytettäväksi optimoiduilla termisen ruiskutuksen pinnoitusmenetelmillä. Erityisesti tutkimus on keskittynyt uusiin korkeakineettisiin korkeanopeuksiin termisen ruiskutuksen menetelmiin ja niiden tuomiin etuihin pinnoiteominaisuuksien kannalta. Projektissa on kehitetty uusia pinnoitteita ja pintaratkaisuja teollisuuden vaativiin käyttökohteisiin. Projekti on tuonut uutta ymmärrystä pinnoiteominaisuuksista sekä uutta monialaista osaamista kotimaisille yrityksille. Sovelluslähtöinen kehittäminen yhdessä syvällisen tieteellisen tutkimuksen kanssa ovat olleet tämän projektin vahvuudet uusien pinnoiteratkaisujen kehittämiseksi. Tutkimustyötä tarvitaan edelleenkin ja yhteistyö jatkuu varmasti jatkossakin.

Heli Koivuluoto
Tampereen teknillinen yliopisto,
Materiaalioppi
Tampere
ja
Ulla Kanerva
Valmet Technologies Oy
Jyväskylä

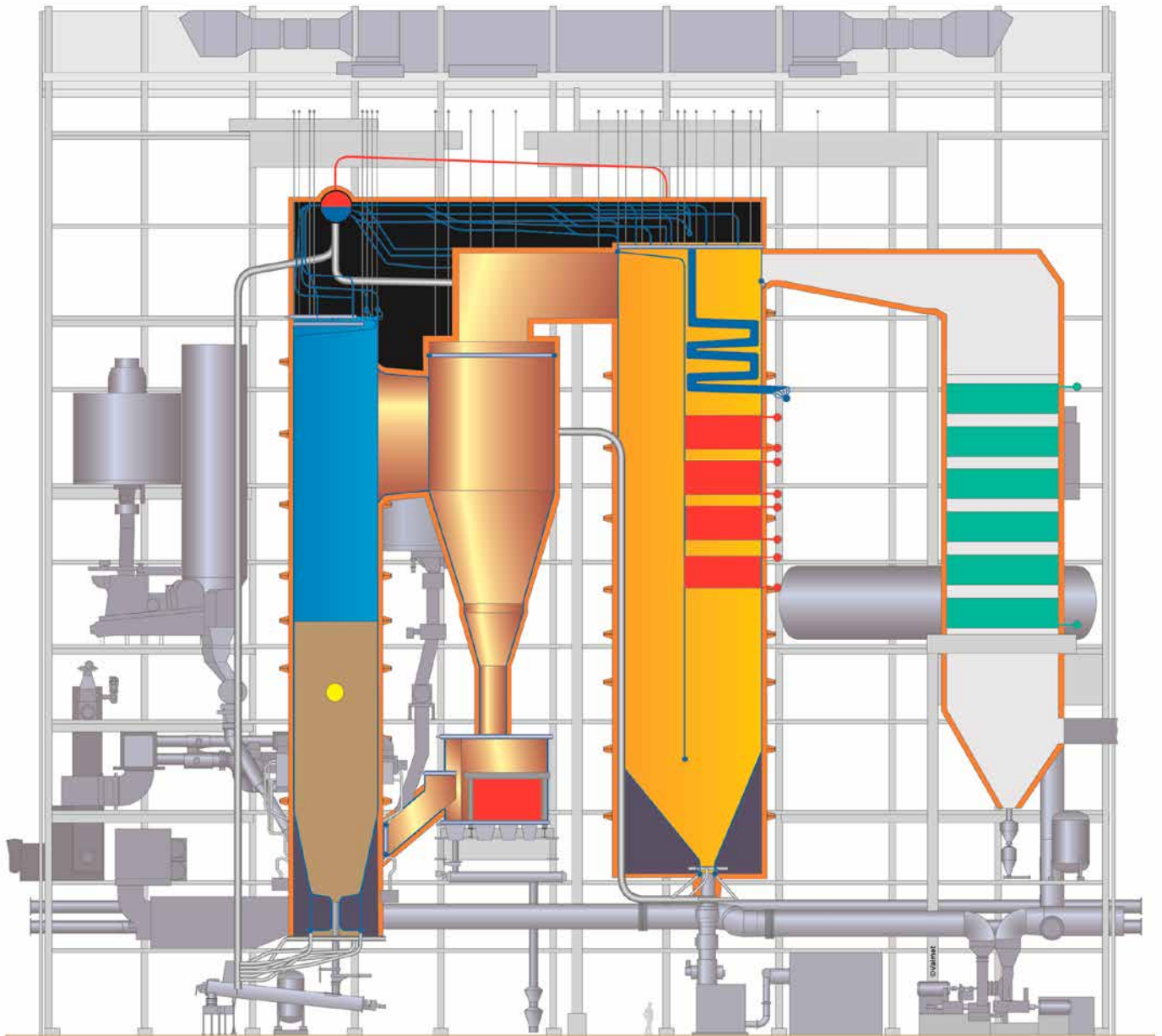


Kuva 4. Pinnoitettu kalanteritelan pinta pinnoituksen ja hionnan jälkeen. Lähde: Valmet Technologies.

Käyttövarmuutta kattiloihin uusilla materiaalivaihtoehtoilla

Satu Tuurna, Jyrki Romu, Hannu Hänninen, Jouni Mahanen ja Tony Puikkonen

Pinnoitus mahdollistaa joustavan materiaalin valinnan kohteen tarpeiden mukaan ja on usein kustannustehokkaampi sekä nopeammin saatavilla oleva vaihtoehto kuin korkeasti seostettu putkimateriaali. Oikein valitulla hitsauspinnoitteella saadaan tiivis suoja prosessiolosuhteita vastaan eikä lämmönjohtavuus tulipesästä prosessiin heikkene merkittävästi pinnoitteen hyvän lämmönjohtavuuden ansiosta.



Voimalaitosten käytettävyyteen ja ylläpitoon vaikuttavat alati muuttuva liiketoimintaympäristö sekä tiukentuvat ympäristövaatimukset. Laitosten käyttötavat muuttuvat mm. vaihtelevien, kustannustehokkuutta hakevien energialähteiden mukaan. Teknologiat kehittyvät uusien prosessien, polttoaineiden ja markkinoiden mukana, vaikkakin kehitystä hidastaa uusien materiaalivaihtoehtojen pitkät kehitysaajat. Tästä syystä erilaiset pinnoitteet, jotka voidaan asentaa jo hyväksytyjen, painelaittevaatimukset täyttävien, tunnetusti käyttäytyvien perusmateriaalien päälle, ovat kiinnostava vaihtoehto. Pinnoitusmenetelmien ja -laitteistojen kehittyessä pinnoitteilla on edellytykset tarjota kustannustehokas ratkaisu korkeasti seostetuille putkimateriaaleille. Pinnoitus on parhaimmillaan joustava menetelmä valmistuksen ja materiaalikoostumuksen suhteen. Runsaammin seostettuja ja kalliimpia materiaalivaihtoehtoja voidaan suunnitella korrosio- ja eroosiosuojausmielessä putkimateriaalin pinnalle kohteen mukaan.

DIMECCin BSA-ohjelman Productive broiler -projektissa on kehitetty ja testattu uusia hitsauspinnoitteita korkean lämpötilan soveluksiin, erityisesti kattilaympäristöjä ajatellen.

Automatisoinnilla tasalaatuista pinnoitetta

Hitsauspinnoitettujen putkien sisäosan materiaali valitaan käyttölämpötilan ja lujuusominaisuuksien perusteella ja pintaan tuodaan hitsaamalla korroosiota ja/tai kulumista kestävä pintakerros. Hitsauspinnoituksessa syntyvä metallurginen sidos on etu verrattuna muihin pinnoitusmenetelmiin, koska tällöin pinnoitteen tartunta pohjamateriaaliin on hyvä ja haitallista pinnoitteen irtoamista ei pääse tapahtumaan. Kattilan kriittisiä osia voidaan hitsauspinnoittaa joko robotisoidusti pinnoitushitsausasemassa konepajalla tai paikan päällä asennushitsauksena. Hitsauspinnoitteen laatu vaikuttaa suoraan komponentin elinikään. Laatuun vaikuttavia tekijöitä ovat mm. käytetty hitsausmenetelmä, prosessin tasalaatuisuus, pohjamateriaalin puhtaus, pinnoitteen kerrosrakenne, huokoisuus ja peittävyys sekä seostuminen perusaineen kanssa.

Hitsauslaitteistot ovat pitkälle automatisoituja. Hitsausparametrien, mm. jännitteen, virran, suojakaasun, langansyöttö- ja ajonopeuden, reaaliaikaisella seurannalla pyritään takaamaan tasainen laatu. Reaaliaikainen prosessivalvonta on erityisen tärkeää hitsattavan alueen ollessa laaja. Esimerkiksi kattilalaitosten kohdalla pinnoitettava alue voi käsittää satoja neliömetrejä. Yleisesti käytetään useita hitsauslaitteita samanaikaisesti työn nopeuttamiseksi.

Kattiloiden seinämät ovat tyypillisesti membraaniseinämiä, jonka hitsaus tehdään yleensä vertikaalisesti ylhäältä alas aloittaen

eväalueelta edeten asteittain putken lakipiteeseen taaten näin täydellinen peitto koko putken pinnalle. Tyypillinen hitsipalon leveys on 10-20 mm ja päällekkäisyys viereisen palon kanssa on 30-50 %. Minimipaksuus on usein noin 2 mm:n luokkaa. Seinämäputket voidaan pinnoittaa myös spiraalimaisesti (ns. 360°-hitsauspinnoite) ennen yhteen liittämistä. Tällöin putkipaneelien mahdollinen taipuminen toispuoleisen hitsauksen vuoksi estyy. Kyseinen menetelmä tarjoaa suojan myös kylmän puolen korroosiota vastaan, erityisesti ilma-aukkojen läheisyydessä. Spiraalimaisia hitsauspinnoitteita käytetään myös mm. tulistin- ja verhoputkissa sekä erilaisten kattila-aukkojen ympärillä taivutetuissa putkissa, joissa tarvitaan korrosio- ja/tai kulumiskestävyyttä.

Oikealla valinnalla korroosionkestävyyttä

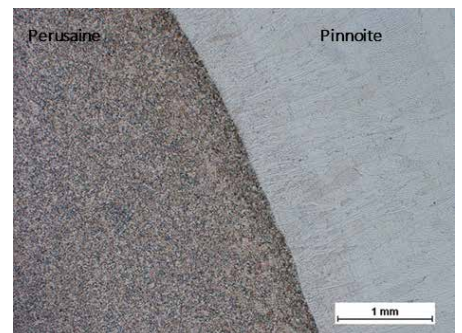
Hitsauspinnoitteiden korroosionkestävyys on usein parempi kuin samoista materiaaleista muilla pinnoitusmenetelmillä valmistettujen suojapinnoitteiden, koska hitsauspinnoite on tiivis ja muodostaa kemiallisen sidoksen perusaineen kanssa. Monia erilaisia seoksia rautapohjaisista nikkelipohjaisiin, mm. Alloy 33, 309, 310, 59, 625 ja 825, on käytetty hitsauspinnoitteina korroosion suojaustarkoituksissa. Periaatteessa voidaan sanoa, että kaikilla materiaalivaihtoehtoilla on koettu haasteita toimivuudessa olosuhteista riippuen. Kokemuksen myötä tieto eri materiaalien soveltuvuudesta eri kohteisiin on kasvanut ja myös pinnoitusprosessit ovat kehittyneet. Yksi haasteiden aiheuttaja on ollut lämpölaajenemiskerroinerot pinnoitteen ja perusaineen välillä. Matalammin seostetun perusaineen ja seostetun hitsauspinnoitteen lämpölaajenemiserosta johtuen rakentee-



Kuva 1. Erytyypisiä hitsauspinnoitteita: ylhäällä putkipaneelin pituussuuntainen hitsauspinnoite ja alhaalla erillisen putken spiraalimainen pinnoite.

seen saattaa muodostua valmistuksen ja myös käytönaikaisten lämpötilavaihteluiden seurauksena jännityksiä, jotka voivat altistaa rakenteen säröilylle. Pinnoituksen jälkeisen lämpökäsittelyn on todettu eliminoivan valmistuksen jälkeisiä jäännösjännityksiä. Nykyisin käytössä olevat pinnoitusmenetelmät ovat usein kaksivaiheisia, jolloin erillistä lämpökäsittelyä ei oleteta tarvittavan, ja putket voidaan kylmämuokata pinnoituksen jälkeen ja pienetkin taivutussäteet ovat mahdollisia ilman säröilyä.

Kaupallisia hitsauspinnoitteiden valmistusmenetelmiä ovat mm. CMT-menetelmä,



Kuva 2. Putkinäyte ja Inconel 52 -hitsauspinnoitteen poikkileikkaus.

jossa lämmöntuonti kappaleeseen on rajoitetumpaa perinteiseen MIG/MAG-menetelmään verrattuna, tai MIG/MAG/TIG-menetelmien yhdistelmä, jossa MIG/MAG:lla tuotetaan ensimmäinen hitsauspinnoitekerros, jonka karkea pinta uudelleen sulautetaan TIG:llä tasaisemman pinnan aikaan saamiseksi. Pinnan tasoittumisen lisäksi samalla mahdollistuu ensimmäisen pinnoitekerroksen muodostaman hitsin muutosvyöhykkeen, HAZ, lämpökäsittely. Eri menetelmillä valmistettujen pinnoitteiden pintaprofiilit saattavat erota suuresti ja tällaisilla makroskooppisilla ominaisuuksilla voi olla merkittävä vaikutus mm. putkipintojen likaantumiseen ja korroosioon. Korroosio on usein nopeampaa kohdissa, joissa vierekäiset hitsipalot ovat limittäin vain reuna-alueiltaan, jolloin muodostuva pinnoite on ohuempaa kyseessä olevilla alueilla. Materiaaliin kohdistuva lämpövuoto on näillä kohdin korkeampi ja se toimii ajavana voimana korroosiolle.

Hitsauspinnoite hitsataan yleensä pintaan joko 1- tai 2-kerroshitsinä. Yksikerroshitsissä pinnoite muodostuu limittäin toistensa päälle rakentuvista palkokerroksista. Haasteina korakenteessa ovat mm. peittävyysongelmat, hitsiaineen liiallinen sekoittuminen perusaineen kanssa (korroosion kannalta oleellisten alkuaineiden liukeneminen, pinnan liian suuri rautapitoisuus ja madaltanut kromipitoisuus) sekä jyrkähköt pinnan profiilimuutokset. Hitsiaineen sekoittumista voidaan hillitä käyttämällä alhaisempia hitsausparametrien arvoja, mutta tämä saattaa heikentää perusaineen ja hitsin tai hitsipalkojen välistä tartuntaa. Heikko tartunta voi aiheuttaa ongelmia pinnoitehitsauksen jälkeisessä taivutuksessa. Kaksikerroshitsissä pinnoitteen ominaisuuksia voidaan säädellä helpommin. Tyypillisesti sekoittumisaste on alle 10 %, usein tavoitteena on alle 5 %:n sekoittuminen perusaineen ja pinnoitteen välillä. Korroosion kannalta tärkeimmät seosaineet, esim kromi, pyritään pitämään mahdollisimman korkealla tasolla koko pinnoitepaksuuden läpi, jotta pinnoitteen suojaava ominaisuus säilyisi koko pinnoitteen eliniän. Liiallinen

Taulukko 1. Hitsauspinnoitekokeissa mukana olleet materiaalit.

Materiaali ¹⁾	Fe (%)	Cr (%)	Ni (%)	Al (%)	Muita
Kanthal A1 FM	bal	20,5-23,5		5,8	Mn, Si
Kanthal APMT FM	bal	20,5-23,5		5	Mo, Mn, Si
Fe12Cr2Si FM	bal	13,1	0,1	0,04	Si, W, Mn
Inconel 52 FM	7-11	28-31,5	bal	<1,1	Mn, Cu, Si, Nb, Ti, Mo
AFA OC4 FM	bal	14,0	25	3,52	Mn, Cu, Si, Nb, V, Ti, Mo, W
AFA OC4 P	bal	14,0	25	3,52	Mn, Cu, Si, Nb, V, Ti, Mo, W
AFA OC-I P	bal	13,8	12,1	2,52	Mn, Cu, Si, Nb, V, Ti, Mo, W
AFA OC-S P	bal	13,8	32	3,02	Mn, Cu, Si, Nb, V, Ti, Mo, W, Zr
AlSi 347HFG	bal	18,2	11,5		Mn, Cu, Si, Mo

¹⁾ FM: filler metal (lisäaine) ja P: plate (perusaine)

raudan seostuminen pinnoitteen pintaosiin heikentää materiaalin korroosionkestävyyttä huomattavasti, mm. kloorikorroosion riski kasvaa. Hyvin onnistuneen pinnoitteen rakenteesta ei myöskään löydy erkauman muodostusta ja faasimuutoksia, jolloin pystytään hallitsemaan materiaalien kuuma-/ kylmähalkeluitaipumusta. On tärkeää, että hitsauspinnoite ei aiheuta putken mekaanisten ominaisuuksien alenemista. Hyvin tehty hitsauspinnoite voi parantaa putken lujuutta, lisäten täten putken kestävyttä ylikuumentumista ja putoavia kerrostumia vastaan.

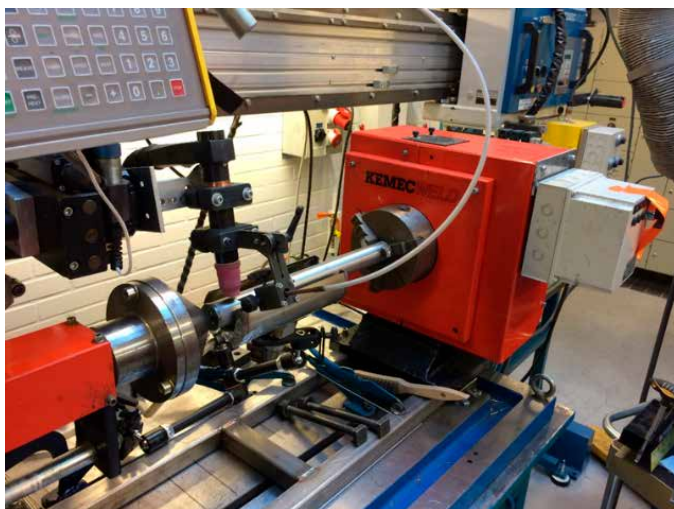
Pinnoitehitsattujen putkien liittäminen vastaa hyvin pitkälle eripariliitosten hitsausta. Eripariliitoksen hitsauksessa on pyrittävä estämään erilaisten materiaalityyppien sekoittuminen toisiinsa, jotta helposti muodostuvien hauraiden rakenteiden syntyminen estetään ja korroosionkestävyys säilyy. Tästä johtuen on noudatettava erityistä huolellisuutta oikean lisäaineen ja hitsausmenetelyn valinnassa sekä itse hitsaustyössä. Hitsaus tehdään kahdessa osassa, ensin pohjaputki ja toisessa vaiheessa pintaosa. Jättämällä riittävän pitkä osuus pohjaputkea näkyviin varmistetaan, ettei pinnoitekerrosta pääse sekoittumaan hitsisulaan. Korjaushitsauksia tehtäessä on huolehdittava, että uudelleen pinnoitettavat alueet on puhdistettu ja mahdolliset viat poistetaan materiaalista.

Uudet materiaalivaihtoehdot täyden mittakaavan kenttätesteihin

Aalto yliopisto on kehittänyt käynnissä olevassa DIMECC BSA-ohjelmassa alumiinirikaiden (AFA, alumina forming austenitic) hitsauspinnoitteiden valmistusta, taulukko 1. Ensimmäiset kehitysversiot testattiin sekä Aallon että VTT:n laboratorioissa simuloituissa kattilaolosuhteissa ja kokeissa parhaiten menestyneistä materiaaleista valmistettiin putkinäytteitä Amec Foster Wheelerin Äänevoiman kattilalaitokselle suunnittelemaan höyryluoppiin, jossa vuoden mittaiset altistukset jatkuvat edelleen. Höyryluoppi mahdollistaa materiaalien altistuksen todellisissa käyttöolosuhteissa häiritsemättä emolaitoksen höyryn tuotantoa.

Kevään 2017 aikana valikoitujen hitsauspinnoitteiden käyttökokeet tulevat jatkumaan myös Andritzin toimesta kattilaolosuhteissa. Laboratorioissa tehtyjen korroosio- ja kokeiden lisäksi on tärkeää saada tietoa hitsauspinnoitteiden korroosiokestävyydestä myös niiden todellisissa käyttöolosuhteissa, sillä laboratorio- ja kenttäkokeissa ei pystytä simuloimaan kaikkia korroosioon vaikuttavia prosessiparametreja. Toisaalta laboratorio- ja kenttäkokeissa pystytään hallitsemaan yhtä parametria kerrallaan, joten laboratorio- ja kenttäkokeet tukevat toisiaan, kun eri päällehitsausten soveltuvuutta eri kattilasovellyksiin arvioidaan. Päällehitsausten merkitys korostuu erityisesti tapauksissa, joissa olemassa oleva kattilalaitos halutaan muuntaa polttamaan heikompi laatuista ja suuremman korroosioriskin aiheuttavaa polttoainetta. Päällehitsauksia voidaan käyttää korroosiosuojana myös uuslattilaitoituksissa, esimerkiksi jätteenpoltoissa, jossa korroosio on yleensä ongelma.

Satu Tuurna, Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy
Jyrki Romu, Hannu Hänninen, Aalto Yliopisto
Jouni Mahanen, Amec Foster Wheeler
Tony Puikkonen, Andritz Oy



Kuva 3. Laitteisto, jolla valmistettiin laitosmittakaavan kokeisiin hitsauspinnoitetut näyteputket.

Materiaalitekniikka siivittää tuulivoimavaihteiston kilpailukykyä

Kaisu Soivio ja Jukka Elfström



Kansainvälisillä kilpailuilla markkinoilla menestyminen edellyttää tuotteelta erinomaista teknistä suorituskykyä sekä hinnan ja laadun oikeaa suhdetta. Pitkäjänteisten ja sovelluslähtöisten teknologioiden kehitys on tarpeen myös raskaan koneenrakennuksen toimijoiden keskuudessa asiakkaita houkuttelevien tuotteiden luomiseksi. Vuosien 2014-2016 aikana DIMECC BSA-ohjelmaan osallistuminen on edistänyt Moventaksen tutkimus- ja tuotekehitystoimintaa monilla eri teknologia-alueilla. Uusien ratkaisujen yhteisenä tavoitteena ovat entistä kilpailukyysisemmät vaihteistoratkaisut tuulivoimaloihin.

Suomalaista voimansiirto-osaamista uusiutuvan energian markkinoilla edustava jyväsyläläinen Moventas keskittyy tuuliturbiinien vaihteistojen tuotantoon. Tämänhetkinen päätuote on 3 MW:n tuulivoimalan vaihteisto, mutta kehitystrendi osoittaa edelleen kasvua myös maalle rakennettavien tuulivoimaloiden nimellistehon osalta. Tuotteet viedään ulkomaalaisten tuuliturbiinivalmistajien tehtaille eri puolille maailmaa. Suomessa noin 400 henkilöä työllistävän Moventaksen kilpailuedut alan huomattavasti suurempiin toimijoihin nähden ovat ketteryys ja määrätietoinen teknologia- ja tuotekehitys.

Vuonna 2015 liki puolet energiantuotannon kasvusta maailmalla syntyi tuulivoiman kasvusta. Poliittisten päätösten ohella kasvu perustuu myös markkinaehtoisuuteen. Maalle rakennettavan tuulienergian investointi- ja operointikustannuksista koostuvat kokonaiskustannukset ovat laskeneet voimakkaasti viimeisten vuosien aikana ja eivätkä ennusteet osoita suunnan muuttuvan radikaalisti (Lähde: MAKE consulting report, Global Wind Turbine market trends 2015). Tästä aiheutuu paine myös tuuliturbiinien komponenttitoimittajille laskea komponenttien, kuten vaihteistojen, hintaa. Innovatiivisia ratkaisuja vaaditaan, jotta kustannusten lasku onnistuu kestävästi.

Moventaksella on valittu teknologiakeskeinen lähestymistapa ja tavoitteena on kehittää entistä momenttitiheämpiä vaihteistoja. Momenttitiheydellä (Nm/kg) mitataan vaihteiston kykyä viedä läpi roottorin siipien liikkeen aiheuttama pyörimismomentti generaattorille vaihteiston massaan nähden. Roottorin noin 10 kierrosta minuutissa pyörimisnopeus nostetaan noin 1200-2000 kierrokseen minuutissa – vaihteistolliset tuuliturbiinit soveltuvat paremmin vaihtelevimpiin tuulioloihin kuin niin kutsutut suoravetoiset. Korkeampi tehoteho pienentää tuuliturbiinin investointikustannuksia, nostaa kapasiteettia ja luotettavuutta ratkaisulla toteutettuna myös käyttökustannukset alenevat.

Tuuliturbiinivaihteiston massa koostuu raskaalle koneenrakennukselle tyypillisesti valtaosin valuraudasta ja teräksestä. Valurautaa on ennen kaikkea kotelorakenteissa, mutta myös voimaa siirtävissä komponenteissa kuten planeetankantajissa ja momenttituessa, joka kiinnittää vaihteiston turbiinin runkoon. Näiden komponenttien kuormankantokyky on yksi tehotehden kannalta kriittisistä tekijöistä. Toinen ratkaiseva tekijä on hammastettujen teräksisten komponenttien kuormankantokyky, joka jakautuu hampaiden tyven sekä pinnan väsymiskestävyyteen. Kokonaisuudesta ei voida sivuuttaa laakereita, jotka ovat kriittisessä roolissa tuulivoimavaihteistoissa etenkin luotettavuutensa ja koon kanssa korreloivan kuormankantokynsä vuoksi. Kuorman kasvattaminen laakerissa vaatii usein koon kasvattamista, mikä sotii vaihteen pienentämistavoitteita vastaan. DIMECC BSA-ohjelman tutkimusprojekteissa NoCMA ja GeFa, joissa Moventas

on ollut mukana, on keskitytty kahteen ensiksi mainittuun momenttitiheyden kasvattamisen kannalta ratkaisevien teknologioiden kehitystyöhön.

Novel Cast Materials – kuormankantokykyä lämpökäsitellystä valuraudasta

Tuulivoimavaihteiston kuormaa kantavat valukomponentit altistuvat käytössä vaihtuvalle kuormitukselle. Tavanomaisesti käytössä olevat pallografiittivaluraudat ovat ferriittiperliittisiä standardin SFS-EN 1563 mukaisia laatuja, joiden standardin mukaiset murto- ja taivutuslujuudet vaihtelevat 400 ja 800 MPa välillä. Kehittyneillä suunnittelumenetelmillä, kuten tietokoneavusteisella topologiaoptimoinnilla, näistä raudoista on materiaaliominaisuuksien ja luokituslaitosten mitoitusääntöjen sallimissa rajoissa ulosmitattu niiden kapasiteetti.

NoCMA projektissa Moventas on keskittynyt selkiyttämään seuraavan sukupolven tuulivoimavaihteiston vaatimuksia kovimmin kuormitetun yksittäisen valukomponentin, planeetankantajan, osalta ja mahdolliset materiaalit ja valmistusmenetelmät, jotka voisivat vastata kasvaneisiin vaatimuksiin siten, että kustannusvaikutus olisi kokonaisuuden kannalta positiivinen. Planeetankantajan monimutkainen geometria ja vaatimukset kasvavasta lujuudesta ovat karsineet useimmat vaihtoehtoista ja jäljellä on lämpökäsittely valurauta ADI (SFS-EN 1564).

ADI (Austempered ductile cast iron) on ausferriittinen pallografiittivalurauta, jonka määrittelmä on ainestandardin mukaan ”Ausferriittinen pallografiittivalurauta on rautapohjainen valumateriaali, jossa hiili esiintyy pääasiassa grafiittipaloina ausferriittisessä matriisissa.” Sen juuret juontuvat suomalaisen keksintöön (”Kymenite”) 1970-luvulla Högforsin valimolla Karkkilassa. ADI:n mekaaniset ominaisuudet vetävät vertoja suur- ja keskisuuren lujuusteräksille ja sen valmistettavuus on samalla tasolla perinteisesti käytettyjen pallografiittivalurautojen kanssa.

Sen luotettava valmistaminen tämän kokoluokan komponentteihin vaatii kuitenkin vielä tutkimus- ja kehitystyötä. Koska ADI poikkeaa luokituslaitosten valmiiksi teknisissä ohjeissaan hyväksymistä valumateriaaleista, vaatii materiaalin käyttöönotto lisäksi mittavat hyväksyttämistausjärjestelyt.

Gear fatigue – hammaspyörien väsymiskestävyyttä

Kuorma siirtyy vaihteiston läpi hammaskosketusten välityksellä. Hammastettujen komponenttien kuormankantokyky jakautuu ham-

paiden tyven ja pinnan väsymiskestävyyteen. Moventaksen vaihteistoissa käytetään hiiletyskarkaistuja hammaspyöriä, joiden väsymiskestävyyden on erinomaisella tasolla pinnan kovuuden ja hiiletyskerroksen puristusjännitystilien ansiosta. Tehotehden parantamiseksi suunnittelu- ja valmistusprosessi voidaan standardissa määritetyistä arvoista. Standardin sallimista mitoitusarvoista voidaan poiketa, jos kattavalla testaamismenetelmällä on osoitettu väsymislujuusarvojen täyttyvän 1 %:n vauriotodennäköisyydellä. Testauksessa tulee käyttää porrasmenetelmää. Testauksessa tulee testata olemassa oleva materiaali ja valmistusprosessi sekä uusi ratkaisu ja hyödyksi voidaan lukea tämä erotus, ei eroa standardin arvoihin.

Hampaan tyven väsymislujuuden pettäessä hammaspyörästä irtoaa taivutuskuormituksessa hammas. Hampaan tyven väsymislujuus on hiiletyskerroksen lisäksi riippuvainen perusaineen kovuudesta hiiletyskerroksen alla. GeFa-projektissa tyven väsymislujuuden parannusta tavoiteltiin uudella hiiletyskarkaisuteräksellä. Tyven väsymislujuutta testataan yksittäisten hampaiden taivutuskokeilla. Testien tuloksista kävi ilmi, että hampaan tyven laadulla oli arvioitua suurempi vaikutus testitulosten hajontaan. Alustavista tuloksista voidaan kuitenkin arvioida uuden teräksen tuovan noin 12-15 %:n kasvun tyven väsymislujuuteen.

Hampaan pinnan väsymislujuus riippuu pinnankarheudesta ja kovuudesta. Hampaan pinnan väsymisilmiot näkyvät pinnan hilseilyinä ja pinnan kuoriutumisenä. Hiiletyskarkaistun teräksen pintakovuus riippuu hiilipitoisuudesta ja päästölämpötilasta. Nämä parametrit eivät kuitenkaan anna pelivaraa merkittäväälle pinnan väsymislujuuden parantamiselle, vaan tutkimusprojektissa tutkittiin pinnoitteen vaikutusta pinnan väsymislujuuteen. Pinnan väsymislujuutta testataan FZG-testerillä, jossa hammaspyöräparia pyöritetään kuormitettuna. Testit ovat erittäin aikaa vieviä. Alustavat testit ovat olleet lupaavia, tulosten perusteella on oletettavissa noin 20 % parannus pinnan väsymiskestävyyteen. Pinnoitteiden osalta testejä jatketaan todellisen kuormankantokyvyn lisäyksen selvittämiseksi ja täyden mittakaavan kokeissa. Kestoiän ja kuormankantokyvyn lisäksi on oleellista selvittää mitä mahdollisesti hammaspyörästä käytössä irtoava pinnoite aiheuttaa voiteluöljylle.

Momenttitiheämmät vaihteet vaativat lukuisia teknologiaharppauksia

Edellä mainittujen teknologiaprojektien lisäksi Moventaksella on kehitteillä lukuisia muita tuulivoimateknologian - ja erityisesti Moventasen - kilpailukykyä parantavia projekteja.

Yhtenä tärkeänä projektina Moventak-

sella on ollut käynnissä liukulaakeritekniologian käyttöönotto tuuliturbiinivaihteissa. Kun yllämainitut kehitteillä olevat teknologiat saadaan käyttöön, rajoittavaksi teknologiksi tulevat - konseptista ja lokaatiosta riippuen - vierintälaakerit, jotka tulee korvata kehittyneillä mutta silti kompakteilla liukulaakereilla. Erityisen tärkeä tämä on vaihteen ensimmäisellä planeettaportaalla. Tätä teknologiaa Moventaksella on testattu jo useiden vuosien ajan komponentitasolla ja seuraava askel on viedä liukulaakeritekniologia käytännön kenttätettiin valitun asiakkaan kanssa.

Haasteina liukulaakereissa on riittävä voitelu erilaisissa käyttöolosuhteissa, esimerkiksi kylmäkäynnistys jopa -30 °C:n lämpötilassa ja rajoitettu voitelu painevoitelun kadotessa äkillisesti.

Muita huomionarvoisia projekteja ovat mm. kehittyneen prosessisimulointiympäristön käyttöönotto, jolla pystytään simuloimaan vaihteen käyttäytymistä, voitelua ja lämmönsiirtoa erilaisissa olosuhteissa. Kehitysprojektin myötä kehitetyllä optimoidulla toimintatavalla voidaan saavuttaa merkittäviä säästöjä asiakkaalle optimoidun kylmäkäynnistysprosessin myötä. Projektin myötä on saatu Moventakselle hyötyjä mm. voiteluaineen optimoinnin myötä sekä sillä, että osa testaamista on pystytty digitalisoimaan. Projektissa on lisäksi määritetty testaamalla lukuisten vaihteen voitelukomponenttien käyttäytymismalleja. Kaupallisten toimittajien antamat suuntaa-antavat arvot eivät ole olleet riittävän toimivia suuriviskositeettisillä öljyllä, joita käytetään tuuliturbiinivaihteissa.

Oleellisena kehitysvaiheena on myös tuotelaadun parantaminen. Tähän liittyy Moventaksella on ollut pitkään käynnissä reaaliaikaisen tuotelaadun seurantamenetelmän ja toimintamallien kehittäminen.

Teknologiaprojektit

AVANTI: Kehitetään prosessisimulointityökalua, jonka avulla pystytään lisäämään tuuliturbiinin energiantuottoa käyttöprosesseja optimoimalla.

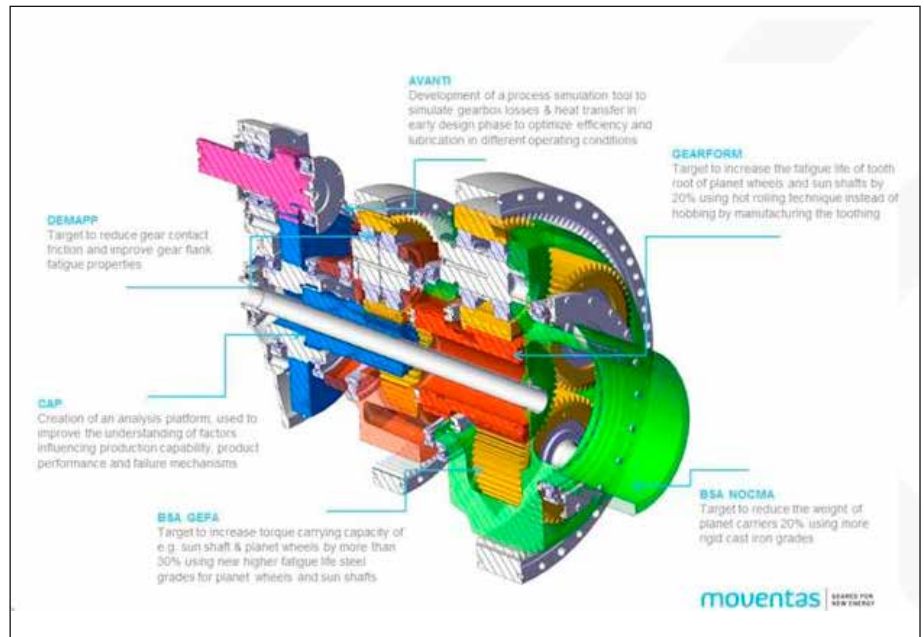
Gearform: Hammaspöyrän hampaiden tyven kuormankantokyvyn lisääminen uudella valmistusmenetelmällä.

BSA NoCMA: Valettujen osien kuten planeettakantajien kuormankantokyvyn lisääminen ja komponenttien keventäminen.

BSA GeFa: Hammaspöyrän hampaiden; kyljen ja tyven kuormankantokyvyn lisääminen.

CAP: Keskitetyn laatu- ja prosessitietoa keräävän järjestelmän rakentaminen ja tiedon hyödyntäminen tuotannon optimoinnissa ja uusien tuotteiden kehityksessä.

DEMAPP: Jo päättynyt FIMECC-ohjelma, joka Moventaksen osalta keskittyi hammaskosketuksen kitkan ja väsymisenkestön tutkimiseen sekä liukulaakereiden soveltamiseen tuuliturbiinivaihteissa.



Vaihteisto (Moventas).



3MW Exceed -sarjan vaihde (Moventas).

<http://www.moventas.com>
<http://www.twitter.com/moventasgears>
<http://www.linkedin.com/company/moventas>

Kaisu Soivio ja Jukka Elfström
Moventas Oy
Jyväskylä

Ultralujien terästen ominaisuudet lopputuotteeseen osaavan suunnittelun ja valmistuksen avulla

Pertti Mikkonen, Timo Björk, Tuomas Skriko ja Niko Tuominen

DIMECC:n BSA- ja MANU-ohjelmassa SSAB ja Lappeenrannan teknillinen yliopisto ovat tutkineet ultralujista rakenneteräkistä hitsattujen rakenteiden lujuusteknistä laatua, käyttäytymistä ja kestävyyttä sekä staattisessa että väsyttävässä kuormituksessa ja mitoitusmenetelmiä, joiden avulla voidaan suunnitella ja valmistaa kehittyneitä hitsattuja rakenteita vaativiin sovelluskohteisiin.

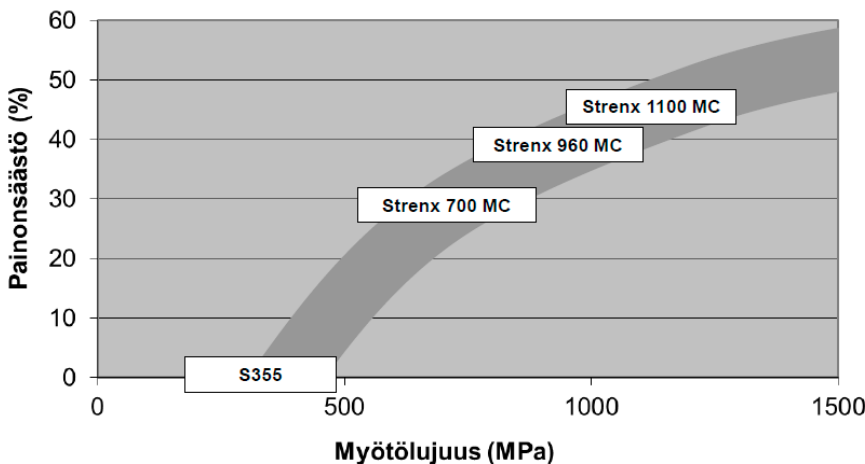


Ultralujien terästen käyttö lisääntyy entisestään lähivuosina ja markkinoita hallitsevat ne, jotka osaavat suunnitella sekä valmistaa tuotteet näistä tulevaisuuden rakennemateriaaleista. Perinteisen teräksen korvaaminen ultralujalla teräksellä luo kokonaisvaltaisen

tarpeen parantaa ja tehostaa rakenteiden suunnitteluosaamista sekä hallita tuotteiden valmistus täsmällisemmin, jotta perusmateriaalin ominaisuudet ja hyödyntämispotentiaali säilyvät koko tuotantoprosessin läpi aina asiakkaalle tai loppukäyttäjälle asti.

Ultralujat rakenneteräkset

Koska koko ajan tarvitaan yhä suorituskykyisempiä teräsrakenteita, vahva ja ohut voittoa. Käytettävän teräksen on oltava lujempaa ja ohuempaa, jotta siitä voidaan valmistaa



Kuva 1. Strenx-terästen mahdollistama painonsäästö.

entistä kestävämpiä ja kevyempiä tuotteita. SSAB:n valmistamat ultralujat Strenx-teräkset myötölujuusluokissa 600-1300 MPa soveltuvat erinomaisesti vaativiin rakenteisiin, joissa vaaditaan kevyttä ja kestävyttä. Strenx-terästen tarjoama painonsäästöpotentiaali on esitetty suuntaa antavasti kuvassa 1.

Taitavalla suunnittelulla teräsrakenteen painoa voidaan pienentää kymmenillä prosenteilla. Toteutuva painonsäästö on aina rakennekohtainen ja riippuu teräksen lujuuden lisäksi rakenteen kuormituksesta ja suunnitteluratkaisuista. Paras keino lisätä terästuotteen ja teräsrakenteen kilpailukykyä on käyttää lujempaa terästä ja pienentää levynpaksuuksia. Näin nykyisistä terästuotteista samoin kuin asiakkaan suunnittelemissa uusista rakenteista saadaan kevyempiä ja lujempia. Aiempaa kevyempien laitteiden käyttö takaa suuremman hyötykuorman, pienemmän polttoaineen kulutuksen ja paremman suorituskyvyn turvallisuudesta tinkimättä. Keventyminen tuo mukanaan monia siihen liittyviä etuja mukaan lukien mahdollisuuden uudistaa muotoilua. Muotoilun merkitys kilpailutekijänä onkin korostumassa metalliteollisuuden tuotteissa.

Strenx-teräkset soveltuvat erinomaisesti kevyempien ja lujempien nostovälineiden valmistamiseen: ulottuvuuden kasvu tekee niistä kilpailukykyisempiä, samoin lisääntyneet työskentelykorkeus ja työskentelyala. Liikkuvissa nostureissa ja kuormausnostureissa ultralujan teräksen käyttö mahdollistaa, ettei laitteen omapaino tieliikennekäytössä nouse liian suureksi.

Kuljetusalalla halutaan usein lisää hyötykuormaa ja pienempää polttoaineen kulutusta. Kuljetusvälineen painoa keventämällä hyötykuormaa voidaan kasvattaa. Esimerkiksi kymmenen prosentin hyötykuorman lisäys tarkoittaa, että joka kymmenes reissu voidaan jättää tekemättä. Kuorma-autoista, perävaunuista, raitiovaunuista ja linja-autoista on saatava entistä kevyempiä samalla kun suorituskykyvaatimukset kasvavat.

Maatalouden ja metsätalouden sovelluksissa mahdollisimman suuri hyötykuorma ja alhainen oma paino parantavat suorituskykyä

ja alentavat kustannuksia. Keveämmät laitteet vähentävät maaperälle aiheutuvia haittoja. Onpa kyse sadonkorjuusta puimurilla tai puutavaran keräämisestä harvesterilla – vahva ja kevyt laite merkitsee myös pienempää polttoainekulutusta, vähäisempää kulumista ja alhaisempia kustannuksia.

Tässä artikkelissa on käsitelty Strenx 700, Strenx 700 MC Plus ja Strenx 960 MC-terästen hitsausliitosten ominaisuuksia ja tutkimustuloksia sekä staattisesti että väsyttävästi kuormitetuissa rakenteissa. Taulukossa 1 on kerrottu case-esimerkeissä käytettyjen terästen mekaaniset ominaisuudet.

Strenx 700 on rakenneteräs, jonka myötölujuus on paksuudesta riippuen vähintään 650-700 MPa. Strenx 700 vastaa EN 10 025-6 -standardissa S690-teräkselle asetettuja vaatimuksia ylittäen ne. Tyypillisiä käyttökohteita ovat erilaiset kantavat rakenteet vaativissa olosuhteissa. Strenx 700E (S690QL-vaatimusten mukainen) on saatavana levypaksuuksina 4-160 mm ja Strenx 700F (S690QL1-vaatimusten mukainen) on paksuuksina 4-130 mm.

Strenx 700 -rakenneteräksen etuja ovat mm.:

- Erinomainen taivutettavuus ja pinnanlaatu
- Hitsattavuus mukaan lukien hitsin muutosvyöhykkeen erinomainen lujuus ja sitkeys

- Levyjen tasalaatuisuus toimituserästä toiseen, mitä kuvastaa erittäin tarkat toleranssit
 - Erinomainen iskusitkeys, joka on tärkeä ominaisuus murtuma-alttiutta vastaan
- Strenx 700 MC Plus on erikoisluja rakenneteräs, joka erinomaisen kylmämuovattavuutensa ja iskusitkeytensä, $\geq 40 \text{ J} / -60 \text{ }^\circ\text{C}$, ansiosta sopii erittäin vaativiin käyttökohteisiin. Strenx 700 MC Plus vastaa EN 10149-2 -standardissa S700MC-teräkselle asetettuja vaatimuksia ylittäen ne. Sitä käytetään tyypillisesti erittäin vaativissa käyttökohteissa, jotka edellyttävät teräkseltä erinomaista taivutettavuutta, korkeaa iskusitkeyttä kylmissä olosuhteissa ja hyvää mekaanista leikattavuutta.

Strenx 960 MC on kylmämuovaukseen soveltuva kuumavalssattu rakenneteräs, jonka myötölujuus on vähintään 960 MPa. Strenx 960 MC vastaa EN 10149-2 -standardissa S960MC-teräkselle asetettuja vaatimuksia ja ylittää ne. Näissä levyissä on lujuustasoon nähden erinomainen paksuustarkkuus ja pinnanlaatu, mikä parantaa lopputuotteiden valmistettavuutta ja viimeistelyä. Tyypillisiä käyttökohteita ovat kehittyneet nostolaitteet, kuten liikkuvat nosturit sekä kevyemmät kuljetusratkaisut ja komponentit.

Staattinen kestävyys

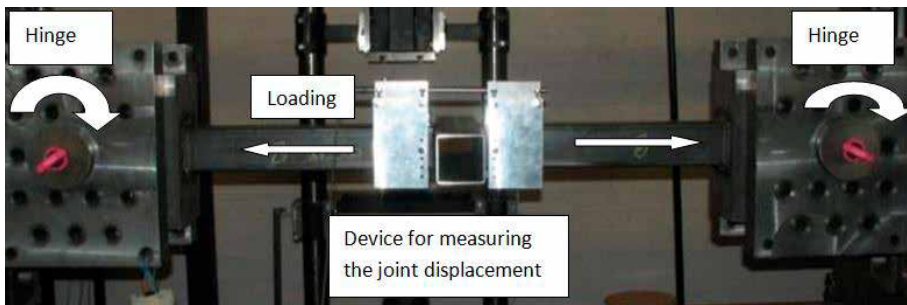
Lappeenrannan teknillisessä yliopistossa on tutkittu ultralujien terästen hitsausliitosten kestävyttä ja käyttäytymistä sekä staattisessa että väsyttävässä kuormituksessa. Staattisia vetokokeita on tehty levyrakenteiden liitosten lisäksi erilaisille rakenneputkiliitoksille (X- ja K-liitos), joissa perusmateriaaleina on käytetty Strenx Tube 700MLH ja Strenx Tube 960MH, jotka ovat Strenx 700 MC Plus ja Strenx 960 MC -levymateriaaleista kylmämuovamalla valmistettuja rakenneputkia.

Kuvissa 2 ja 3 on esitetty molempien tutkittujen liitostyyppien periaatekuvat. Kuvassa 2 on esitetty X-liitoksen koejärjestely ja näitä liitoksia on tutkittu lähinnä vetokuormitettuna. Kuvan 3 K-liitoksen koejärjestely on suunniteltu vastaamaan todellisen kattoris-

Taulukko 1. Tutkimuksissa käytettyjen terästen mekaaniset ominaisuudet.

Teräslaji	Paksuus min-max	Myötölujuus R_{eh} tai $R_{p0,2}$	Murtolujuus R_m	Murtovenymä A_5
Strenx 700	4-53 mm	$\geq 700 \text{ MPa}$	780-930 MPa	$\geq 14 \%$
	(53)-100 mm	$\geq 650 \text{ MPa}$	780-930 MPa	$\geq 14 \%$
	(100)-160 mm	$\geq 650 \text{ MPa}$	710-900 MPa	$\geq 14 \%$
Strenx 700 MC Plus	3-12 mm	$\geq 700 \text{ MPa}^1$	750-950 MPa	$\geq 13 \%$
Strenx 960 MC	3-10 mm	$\geq 960 \text{ MPa}$	1000-1250 MPa	$\geq 7 \%$

¹⁾ Standardin EN 10149-2 mukaisesti yli 8 mm paksuuksilla myötölujuuden vähimmäisarvo voi olla 20 MPa mainittua pienempi.



Kuva 2. Rakenneputkesta hitsatun X-liitoksen koejärjestely.

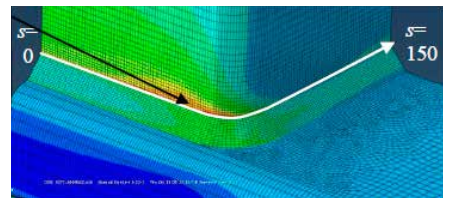
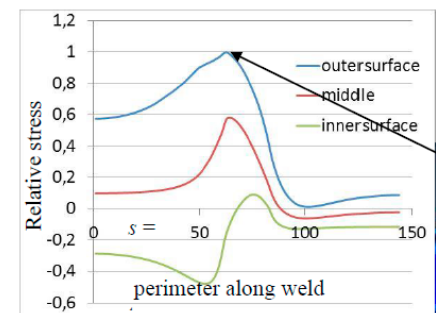
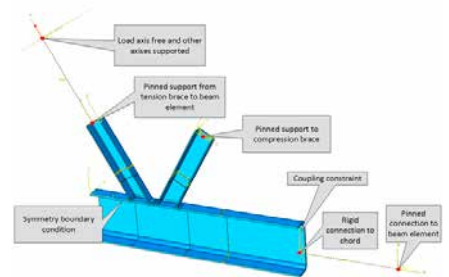
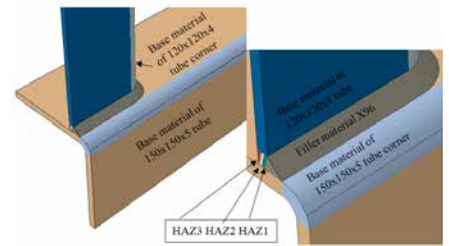
tikon kriittisen liitoksen käyttäytymistä. Molemmissa tapauksissa liitoksen deformaatio on mitattu. Rakenneputkiliitoksissa, varsinkin K-liitoksen tapauksessa, syntyy usein liitoksen kestävyuden kannalta haitallisempia sekundäärisiä jännityksiä hitsin alueelle ja K-liitoksien testauksessa tätä ilmiötä on mitattu tarkemmin asettamalla useampia siirtymäantureita liitosalueelle. Nämä sekundääriset ilmiöt voivat vaikuttaa oleellisesti rakenteen kapasiteettiin, kun lujia teräksiä käytetään ja niiden staattinen kuormankantokyky on ratkaisevassa roolissa. Tämä johtuu lujasta teräksestä hitsatun liitoksen pienemmästä venymäkapasiteetista, jonka avulla liitosalueen paikalliset jännityskeskittymät tasoittuvat. X-liitostokoeita on huoneenlämpötilan lisäksi tehty myös kylmässä (-20...-40 °C).

Rakenneputkikokeilla tehdyt staattiset liitostokokeet ovat osoittaneet, että Strenx Tube 700MLH ja Strenx Tube 960MH -materiaaleista tehdyt rakenneputkiliitokset ovat herkkiä liitosgeometrian muutoksille. Liitoksia, ja varsinkin hitsejä, on mahdollista ja tarpeellistakin optimoida, mutta tämä alue tarvitsee vielä lisää tutkimuksia. Nykyiset tutkimukset keskittyvät rakenneputkiliitoksen riittävän a-mitan määrittämiseen ja liitosgeometrian

vaikutuksen tutkimiseen sekundääristen ilmiöiden kannalta. Tähän käytetään apuna elementtimenetelmää, josta esimerkkinä kuva 4 on esitetty X-liitoksen jännitysjaakuma kuormitetun uumasauvan ainevavuuden yli. Vetokuormitetun liitoksen uumasauvaan lähelle hitsiä syntyy itseasiassa momenttia, joka johtuu edellä mainitusta sekundäärisestä ilmiöstä.

Väsymiskestävyys

Hitsattujen rakenteiden väsymiskestävyys on yleisten standardien ja ohjeistuksien (esim. EC 3 ja IiW) perusteella riippumaton teräksen lujuudesta. Tämä pitääkin paikkaansa "worst case" ja "normaali konepajalaatu" -tapauksissa, mutta parantamalla hitsattujen rakenteiden lujuusteknistä laatua ja tämän lisäksi ymmärtämällä kuormitusten, jännityskeskittymien sekä jäännösjännitysten globaalien ja lokaalien vaikutusten monimutkainen kokonaisuus on mahdollista säilyttää ja hyödyntää ultralujien terästen perusmateriaalien hyvät ominaisuudet sekä potentiaali koko tuotantoketjun läpi raaka-aineesta aina



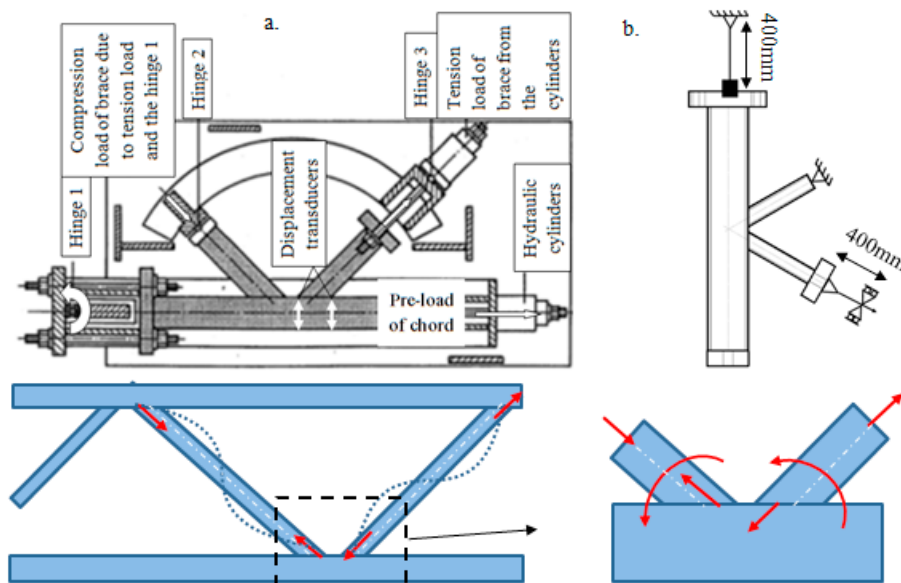
Kuva 4. Rakenneputkiliitostutkimusta elementtimenetelmän avulla.

lopputuotteeksi asti. Tämän seurauksena ultralujista teräksistä hitsatuissa rakenteissa on mahdollista saavuttaa parempi väsymiskestävyys verrattuna matalalujuuksiin teräksiin. Se vaatii kuitenkin enemmän tietoa, taitoa sekä yhteistyötä suunnittelun ja valmistuksen välillä.

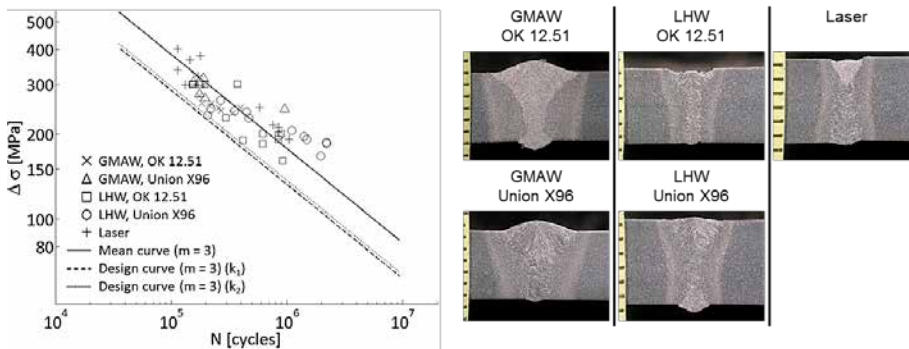
Lappeenrannan teknillisessä yliopistossa on suoritettu paljon kokeellista väsymistutkimusta Strenx 960 MC -teräksestä hitsatuille rakenteille ja liitoksille, joissa valmistusparametreja tutkimalla ja analysoimalla on pyritty parantamaan rakenteiden lujuusteknistä laatua ja sen seurauksena niiden väsymiskestävyyttä. Lisäksi on tutkittu Strenx 700 -teräksestä valmistetun rakenteen hitsausliitosten väsymiskestävyyttä yksittäisissä liitostesteissä sekä myös käytännön sovelluskohteessa, josta saatuja tuloksia on esitetty tässä numerossa olevan Sandvik:n artikkelin yhteydessä.

Ultralujien terästen väsymiskestävyystutkimuksia on suoritettu mm. seuraavista aiheista:

- Hitsausprosessin (MAG, laser)

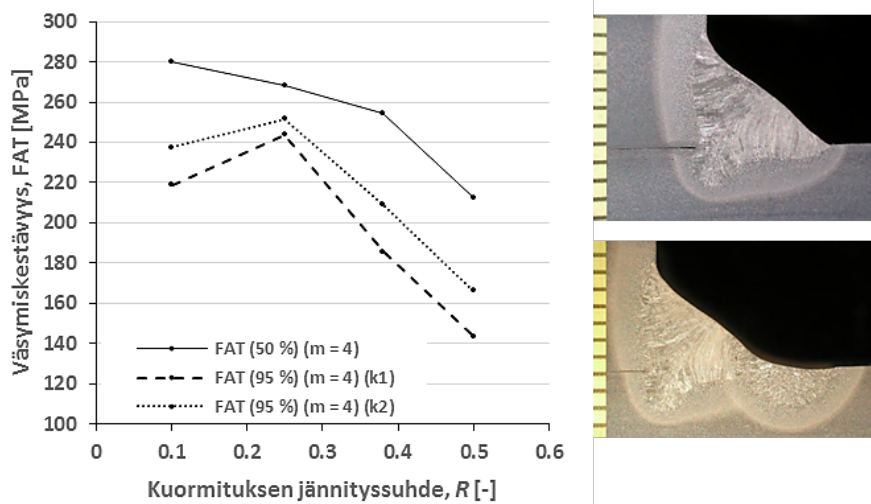


Kuva 3. Rakenneputkesta hitsatun K-liitoksen koejärjestely ja periaate.



Kuva 5. MAG-, laser-MAG-hybridi- ja laserhitsattujen S960-päittäisliitosten väsytyiskoetuloksia ja hiekuvia.

- MAG-hybridi, laser) ja -lisäaineen (ailuja, tasaluja) vaikutus S960-teräksestä hitsattujen päittäisliitosten väsymiskestävyyteen, kuva 5.
- TIG-jälkikäsiteltyjen S960-teräksestä hitsattujen pienaliitosten väsymiskestävyys, kuva 6.
- S960-teräksestä hitsattujen kiinnitysliitosten väsymiskestävyys, kuva 7.
- S960-teräksen kaarijuotto, kuva 8.



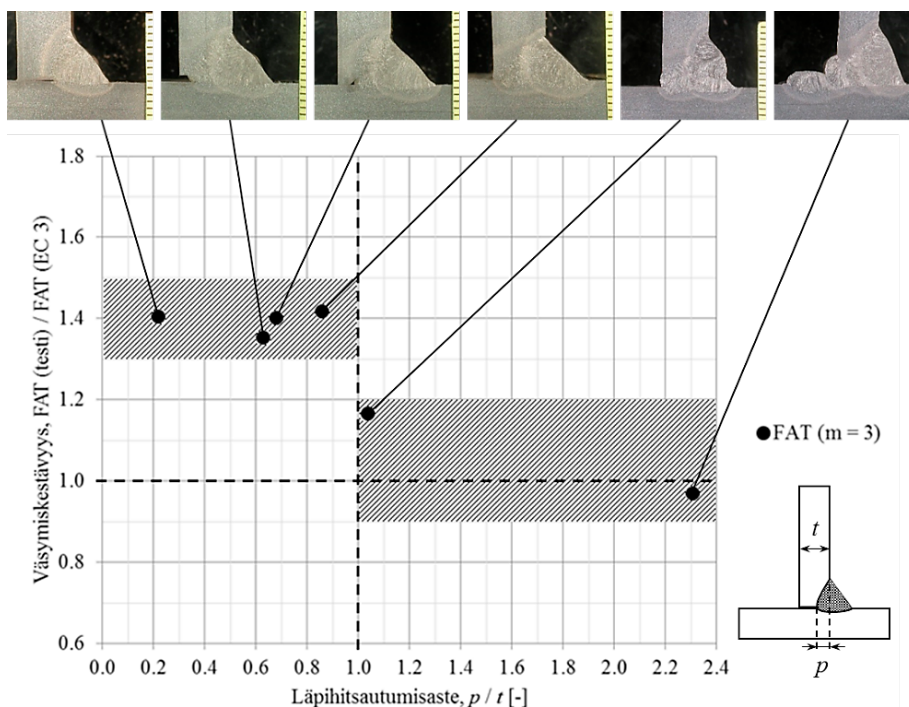
Kuva 6. TIG-jälkikäsiteltyjen S960-pienahitsien väsytyiskoetuloksia sekä hiekuvat ennen ja jälkeen TIG-käsittelyn.

Eri hitsausprosesseilla ja lisäaineilla ei havaittu olevan suoraa vaikutusta S960-päittäisliitosten väsymiskestävyyteen, vaan mahdolliset valmistuksen sovitusrvirheet sekä hitsauksen aiheuttama liitosgeometria ja tietyissä tapauksissa reunahaavat yms. epäjatkuvuuskohdat määrittivät koekappaleiden väsymiskestoajan. Nämä tekijät on otettava huomioon tarkasteltaessa julkaisuja tai artikkeleita, joissa eri hitsausmenetelmillä saadaan eroja rakenteiden väsymiskestävyyteen. Tietyissä tapauksissa tämä johtuu useinkin siitä, että toiset hitsausprosessit on toteutettu menetelmälle optimallisilla parametreilla, kun vertailumenetelmät on ehkä hitsattu jopa keskiarvolaatua heikomman tason tuottavilla parametreilla.

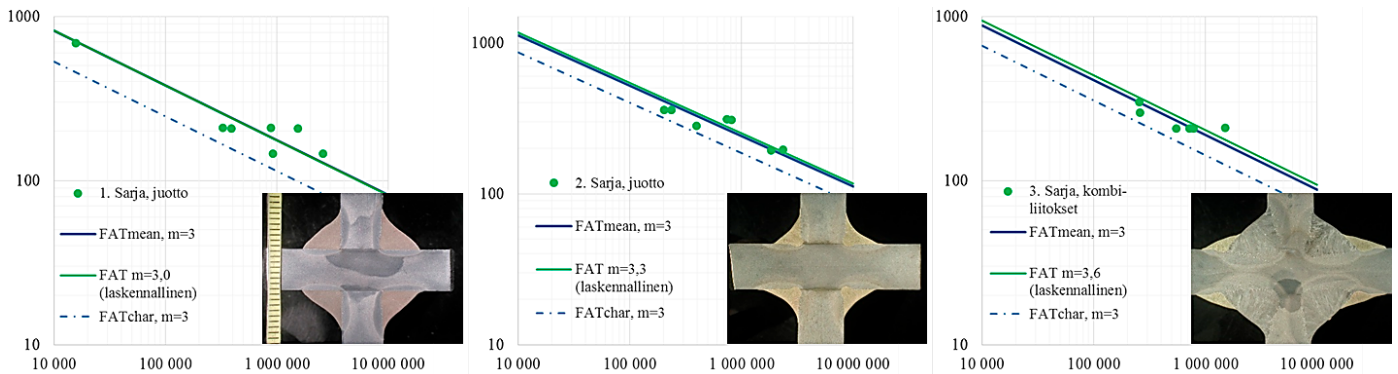
TIG-jälkikäsitellyillä S960-pienahitsailla saavutettiin standardin ja normien ohjevoja korkeampia väsymiskestävyytuloksia, mutta käytännön rakenteissa on otettava huomioon, että kuormituksen jännityssuhteen kasvaessa TIG-jälkikäsitelyn parannusvaikutus väsymiskestävyyteen heikkenee.

Ultralujuudesta teräksestä hitsattujen kiinnitysliitosten väsymiskestävyys havaittiin olevan korkeammalla tasolla kuin EC 3-standardissa esitetty väsymisloukka. Väsytestit suoritettiin taivutuskuormitetuille I-palkkirakenteille, mikä selittää sen, että läpihitsautumisasteella pienahitsista lähes läpihitsattuun liitokseen ei ollut merkittävää vaikutusta rakenteen väsymiskestävyyteen. Väsymiskestävyyden heikkeneminen läpihitsautumisasteen kasvaessa yli 1.0 selittyy sillä, että näissä tapauksissa liitoksen juuren puolen geometria ei muodostu pituus-suunnassa jatkuvaksi ja tasaiseksi, koska hitsaustapahtumassa perusaineen tukivaikeus hitsisulan käyttäytymiseen puuttuu. Tuloksista on kuitenkin otettava huomioon, että ne rajoittuvat vain kyseiseen rakenteeseen ja kuormitustapaukseen. Käytännössä kiinnitysliitokset ovat usein kotelorakenteissa, joissa taivutuksen lisäksi niihin kohdistuu myös kotelon poikkileikkausta vinouttava kuormitus. Näissä tapauksissa läpihitsautumisasteella on suurempi merkitys ja tunkeuman hyödyntäminen tai viistettyyn raiioon hitsaaminen läpihitsautumisen varmistamiseksi parantaa väsymiskestävyyttä huomattavasti verrattuna pienaliitokseen.

S960-teräksen kaarijuottotutkimuksissa käytettiin ohutlevyjen sijaan ainevahvuudeltaan 8 mm levyaihioita, mikä osaltaan aiheutti haasteita juotteen tartunnan ja liitosge-



Kuva 7. S960-kiinnitysliitosten väsytyiskoetuloksia ja hiekuvia.



Kuva 8. Kaarijuotettujen S960-pienaliitosten väsytyскоetuloksia ja hiekuvia.

ometrian jouhevyyden aikaansaamisessa. Kaarijuottoprosessi on herkkä parametrien ja olosuhteiden muutoksille, mutta tulosten perusteella liitosten väsymiskestävyydet olivat hyvällä tasolla ja lisätutkimusten avulla voidaan saada täydentävää tietoa kaarijuoton parannusvaikutuksista ultralujien terästen väsymiskestävyyteen.

3R/4R- väsymismitoitussuunnittelu

Kuten edellä mainittiin, on käytännön väsytyскоetuloksia verrattu tämänhetkisiin standardeihin ja ohjeistuksiin (esim. EC 3 ja IIV), joiden on havaittu olevan tietyissä tapauksissa melko konservatiivisia. Tämän seurauksena, käyttäessään työssään näiden normien sisältämiä väsymismitoitussuunnitteluja, suunnittelija ei voi ulosmitata täysimääräisesti ultralujien terästen tarjoamaa potentiaalia väsyttävästi kuormitetuissa rakenteissa.

Ratkaisuna ongelmaan on Lappeenrantaan teknillisen yliopiston Teräsrakenteiden laboratoriossa kehitetty edistyksellinen 3R-väsymismitoitussuunnittelu, joka nykyisistä menetelmistä poiketen ottaa huomioon jännitysvaihtelun ($\Delta\sigma$) lisäksi myös materiaalin lujuuden (R_m), ulkoisen kuorman jännitys-

suhteen (R_m) sekä paikallisen jäännösjännitystilän (σ_{res}). 3R-menetelmän on todettu soveltuvan sekä vakioamplitudisesti että vaihtuva-amplitudisesti kuormitettujen hitsausliitosten väsymiskestävyyden analysointiin. Tulevaisuudessa 3R-menetelmä laajennetaan kattamaan myös hitsauslaadun vaikutus, jolloin uutena parametrina analyysiin lisätään hitsausliitoksen paikallinen geometria (rajaviivan pyöristys, r). Tämän seurauksena syntyy 4R-menetelmä, joka on entistä tarkempi väsymismitoitussuunnittelu vaativien hitsattujen rakenteiden suunnitteluun.

3R/4R-väsymismitoitussuunnittelun hyödyt:

- Mahdollistaa kilpailukykyisten tuotteiden suunnittelun.
- Mahdollistaa olemassa olevien väsytyскоetulojen selittämisen ja ymmärtämisen.
- Mahdollistaa uusien väsytyскоetulojen täsmällisemmän suunnittelun.

Lisätietoja

Björk T., Tuominen N., Lähde T. Effect of the secondary bending moment on K-joint capacity. *ISTS 15, Proceedings of the 15th International Symposium on Tubular Structures*, 2015. pp. 557-565

Siltanen J., Skriko T., Björk T. Effect of the

welding process and filler material on the fatigue behavior of 960 MPa structural steel at a butt joint configuration. *Journal of Laser Applications*, 2016. Vol. 28: 2. pp. 1-9

Skriko T., Ghafouri M., Björk T. Fatigue strength of TIG-dressed ultra-high-strength steel fillet weld joints at high stress ratio. *International Journal of Fatigue*, 2017. Vol. 94: 1. pp. 110-120

Lehtoviita L. Ultralujan teräksen kaarijuotto. *Diplomityö*. Lappeenrantaan teknillinen yliopisto (LUT), LUT Kone. Lappeenranta, 2016. 63 p.

Nykänen T., Björk T. Assessment of fatigue strength of steel butt-welded joints in as-welded condition – Alternative approaches for curve fitting and mean stress effect analysis. *Marine Structures*, 2015. Vol. 44. pp. 288-310

Nykänen T., Mettänen H., Björk T., Ahola A. Fatigue assessment of welded joints under variable amplitude loading using a novel notch stress approach. *International Journal of Fatigue*, 2016. Available online 23 December 2016.

Pertti Mikkonen

SSAB Europe

ja

Timo Björk, Tuomas Skriko ja Niko

Tuominen

**Lappeenrantaan teknillinen yliopisto
Teräsrakenteiden laboratorio**

Wärtsilän moottori- ja generaattori-yksiköiden teräsrakenteiden väsytestausta

Panu Kämäräinen ja Tero Lokasaari

Wärtsilä Energy Solutions toimittaa mm. nelitahtimoottoreihin pohjautuvia voimalaitoksia globaalisti ympäri maailman. Voimalaitoksien koot ovat kasvaneet vuosien saatossa ja suurin toimitettu voimalaitos on ollut lähes 600 MW kokonaissähköteholtaan. Kuvassa on tyypillinen Wärtsilä Energy Solutions toimittama voimalaitoskokonaisuus.



Malli tyypillisestä Wärtsilän toimittamasta voimalaitoskokonaisuudesta.

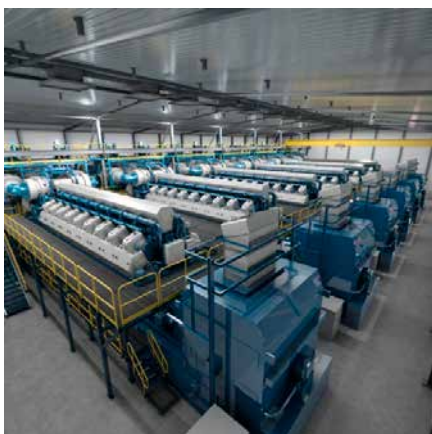
Moottoreiden sylinteritehot ovat kasvaneet kehityksen myötä. Tämä on johtanut siihen, että voimalaitosmoottoreiden ja generaatto-

reiden muodostaman yksikön – gensetin (generating set) – hitsattujen teräsrakenteiden kuormitukset ovat myös kasvaneet. Gensetin

hitsattujen teräsrakenteiden kriittinen mitoituskriteeri on väsymiskestävyys ja sen tutkimus on ollut viime vuosina Energy Solutions –divisioonassa vahvan kehitystyön kohteena. Kuvassa 1 tyypillisiä 18-sylinterisiä gensettejä voimalaitosrakennuksen sisällä.

Gensetin hitsatut teräsrakenteet altistuvat käytön aikana moottorin herätevoimille ja sen myötä väsyttävälle kuormitukselle. Gensetin käyttöänsä aikana värähtelysykliä lukumäärä lasketaan jopa kymmenissä miljardeissa, minkä vuoksi erityisesti UHCF-väsyminen (Ultra High Cycle Fatigue) on hallittava rakenteiden suunnittelussa. Rakennusmateriaalina käytetään pääasiassa S235-rakenneterästä, joka on ns. perusteräs. Se on kyseiseen sovellukseen erinomainen hyvin hitsattavuuden vuoksi. Hyvä hitsattavuus selittyy hitsausmetallurgialla. S235-teräksen tulevaisuuden saatavuus nähdään kuitenkin epävarmana. S355-teräslaadun käyttö on noussut enenevässä määrin keskusteluihin ja sen laajempi käyttö on yksi selvittävistä asioista.

Väsytestausta on tehty Suomessa ja maailmalla paljon, mutta iso osa testauksesta suoritetaan pienillä koesauvoilla ja pienillä syklimäärillä. Todellisten rakenteiden testaaminen on yleisesti hidasta sekä kallista ja rajoittuu yksittäiskappaleisiin. Väsytestaus gigasykklialueella (UHCF) ja vieläpä todellisille teollisuuden hitseille on pitkälti tutkimatonta aluetta. Todellisten hitsien UHCF-testaaminen nähdään Wärtsi-



Kuva 1. 18-sylinterisiä gensettejä voimalaitoksen sisällä.



Kuva 2. Testiasetus.

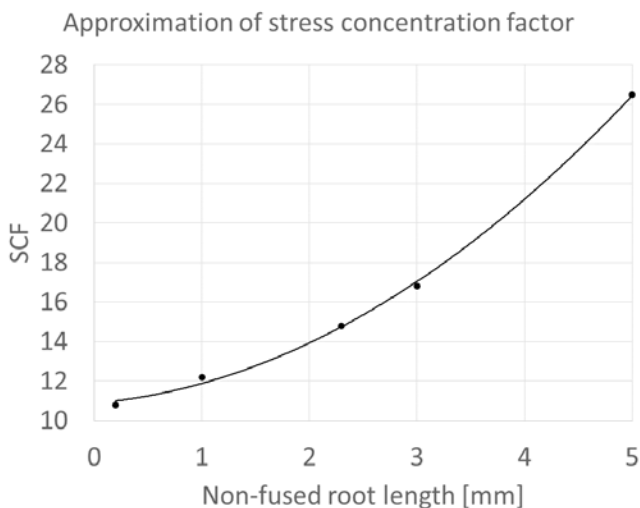
lässä tärkeänä, sillä prosessitarkastukset toimittajille ovat osoittaneet hitsauksen laadulliset haasteet. Wärtsilä Energy Solutions -yksikön laatujohtajan Raimo Mäki-Reinin tarkastuksissa alle puolet toimittajista onnistuu pienahitsin hitsauskokeessa ja yleisesti vika löytyy hitsin juuren puolelta. Wärtsilän rakenteissa käytetään noin 80 prosenttisesti pienahitset, joiden testaus on pienempää. Niiden laadukkuuteen vaikuttaa visuaalisuus, geometria ja metallurgia suuresti. Erityisen tärkeää on varmistaa pienahitsille onnistunut HAZ ja tunkeuma, mikä onnistuu ainoastaan laadukkaalla valmistusprosessilla. Laadun vaihtelut halutaan hallita jatkossa myös väsymismitoituksessa.

Väsytestilaitte

Wärtsilä Energy Solutions rakennedynamiikkatiimistä Samuel Suvanto suunnitteli hitsausliitosten väsymisen tutkimista varten väsytestilaitteen vuonna 2015, jotta tutkittomisiin kysymyksiin päästään kiinni. Laite soveltuu kokoluokaltaan Wärtsilän käyttämien hitsausliitosten testaamiseen, ja sillä voidaan resonanssi-ilmiötä hyödyntäen tuottaa enimmillään 150 jännityssykliä sekunnissa. Täten 10^7 jännityssykliä saavutetaan alle vuorokaudessa, ja gigasyklien alue, eli yli 10^9 sykliä, saavutetaan noin 2,5 kuukaudessa.

Taulukko 1. Tutkimuksessa käytetyt teräslajit ja niiden hiilikvivalenttien arvot. S355-terästen yhteydessä (m) viittaa matalampaan hiilikvivalenttiin ja (k) korkeampaan hiilikvivalenttiin.

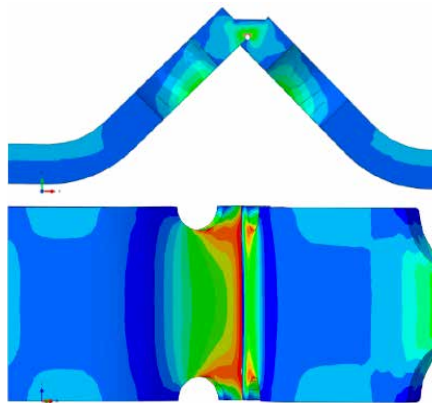
Toimittaja	Teräs	Hiilikvivalentti (%)
1	S235JR+AR	0,26
1	S355K2+N (m)	0,40
1	S355K2+N (k)	0,43
2	S355MC	0,21



Kuva 3. Jännityskonsentraation ja sulamattoman juuren pituuden suhde.

Taulukko 2. MAG-hitsausparametrit.

Toimittaja	Toimittaja 1			Toimittaja 2
Tuotenimi	VDG 15/60 tai OK Aristorod 12.50			VDG 16/60
Suojakaasu	Ar+18CO ₂			Ar+25%CO ₂
Langanhalkaisija (mm)	1,2			1,0
Hitsausvirta (A)	330	330-340	340	260-280
Kaarijännite (V)	32,4	32,4	32,2	28-29
Hitsausnopeus (cm/min)	43	40-41	42	38-42



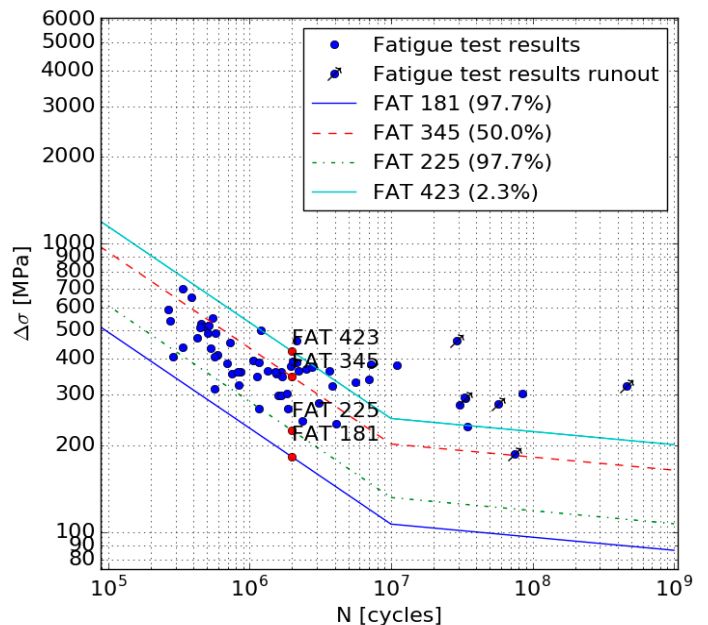
Kuva 4. Näytteen jännityskenttä kuormituksen aikana.

Kuvassa 2 on esitetty laitteen testiasetelma ensimmäiselle väsytestikappaleelle, jonka on suunnitellut Jani Paavilainen Rand Simulation OY:stä. Kuvassa oikealla olevaan osaan on sijoitettu tärymoottori, joka sopivalta värähtelytaajuudella saa kuvan vasemmalla puolella olevat massalevyt resonoimaan vaakatasossa, kohtisuorassa suunnassa näytteen hitsausliitosta vastaan. Näin hitsiin kohdistuu kuvan testikappaleen tapauksessa taivuttava, juuren puolta avaava jännitysheilahtelu. Jännitystasoa mitataan ja säädetään jatkuvasti venymäliuskoja käyttäen.

Juuren puolen väsytestaus

Keväällä 2016 laitteella aloitettiin ensimmäiset varsinaiset väsytestaukset ja liikkeelle lähdettiin HCF-väsymisestä (High Cycle Fatigue). Ensimmäisten testien hitsattuna materiaaleina ovat olleet rakenneteräkset S235 ja S355, ja liitostyyppinä oli nurkkaliitoksen jalkopienahitsin juuren puolen väsyminen (a6, MAG-hitsaus umpilangalla). Saman tyyppisiä liitoksia on muun muassa genset-alustan kourulevyissä.

Nurkkaliitosten väsytestauksesta teh-



Kuva 5. Väsytestien tulokset, R=0,5.

tiin diplomityö [1] Paula Palmgrenin johtamassa huollon laboratoriossa ja tekijänä oli toinen allekirjoittanut, Panu Kämäräinen. Työn tarkoituksena oli tutkia hitsauksen sekä materiaalin laadun vaikutuksia liitoksen väsymiskestävyyteen sekä verifioida loviännitysmenetelmän käyttöä kriittisten hitsiliitosten väsymismitoituksessa. Diplomityössä vertailtiin myös terästen S235 ja S355 hitsattavuutta. Työ toteutettiin yhteistyössä Wärtsilän Energy Solutions ja Services -divisioonien välillä.

Diplomityön testeissä oli mukana yhteensä 40 näytettä. Testiotos sisälsi S235-laadun terästä yhdellä koostumuksella, sekä S355-laadun terästä kolmella eri koostumuksella. Hitsit tilattiin kahdelta eri toimittajalta. Yhteenveto käytetyistä materiaaleista on esitetty taulukossa 1. Hitsausparametrit jokaiselle materiaalille on esitetty taulukossa 2.

Väsytestilaitteen tuottama kuormitus on 90 % taivutusta ja 10 % vetoa ja käytetty jännityssuhde oli $R = -1$. Näytteiden liitostyyppin vuoksi ei efektiivistä jännitystä voitu suoraan mitata hitsin juuresta. Tämän vuoksi jännitys mitattiin venymäliuskalla näytteen alapuolelta noin 3 cm etäisyydeltä hitsin juuresta. Mitatun jännityksen avulla laskettiin hitsin juuren efektiivinen jännitys loviännitysmenetelmää käyttäen. Loviännitysmenettelmällä voidaan laskea niin sanottu jännityskonsentraatiokerroin hitsin juuressa olevan loven pohjalle. Jännityskonsentraatiokerroin kuvaa hitsin juuressa vaikuttavan jännityksen ja venymäliuskalla mitatun jännityksen suhdetta toisiinsa.

Kuten kuvasta 3 nähdään, riippuu juuren jännitys voimakkaasti hitsin tunkeumasta: mitä suurempi tunkeuma, sen pienempi jännityshuippu hitsin juuressa vaikuttaa. Kuvassa 4 on esitetty näytteen jännityskenttä FEM-mallin avulla. Kuvasta nähdään, että suurin jännitys on hitsin juuressa. Myös todellisessa rakenteessa gensest-alustassa suurimmat jännitysheilahdukset.

Väsytestitulokset

Kuvassa 5 on esitetty kaikkien artikkelin kirjoitusajankohtaan mennessä tehtyjen (ei ainoastaan diplomityössä tehtyjen) väsytestien tulokset. Testejä on tehty kolmella eri jännitystasolla. Mittauspisteisiin on sovitettu sekä 50 %, että 97,7 % selviytymistodennäköisyyksien käyrät. Tuloksia verrattiin IIW:n (International Institute of Welding) loviännitysmenetelmän FAT225 suunnittelukäyrään [2], joka on myös merkitty kuvaan.

Diplomityössä keskityttiin vain SN-käyrän alkupäähän, eli suhteellisen korkeilla jännitysväleillä tehtyihin ja pienen syklimäärän väsytyksiin (n. 105–107 sykliä). Jo näistä tuloksista huomattiin väsytestin tuloksissa eri terästen välillä suuria eroja. Erojen syynä ei ainakaan suurimmaksi osaksi ollut kuitenkaan itse materiaali, vaan pääasiassa

erot johtuivat eri suuruisista tunkeumista: tunkeumalla nimittäin on merkittävä vaikutus pienahitsien juuren puolen väsymislujuteen. Syvän tunkeuman hitseillä väsymislujuus oli noin kaksi kertaa suurempi verrattuna niihin hitseihin, joissa tunkeumaa ei ollut käytännössä ollenkaan. Suuri merkitys hitsien väsymiskestävyyteen on siis hitsausprosessin onnistumisella. Tässä tapauksessa onnistumisella tarkoitetaan sellaista lopputulosta, jolla saavutetaan paras mahdollinen väsymiskestävyyden.

Tuloksissa on myös vaihtelua, joka ei selity erisuuruisilla tunkeumilla, vaan syyt löytyvät muista laadullisista tekijöistä. Vaihtelua hitsauslaadussa oli erittäin hyvästä erittäin huonoon. Toimittaja 1:llä hyvälaatuisesta teräksestä tehdyt näytteet olivat järjestään erittäin laadukkaita. Sen sijaan toimittaja 2:n hitsit olivat huonolaatuisia, vaikka käytössä oli helposti hitsattava S355 MC -teräslaatu (hiilikvivalentti 0,21). Jos käytettävä teräs on hyvälaatuisia, ei S235 ja S355 -laatuja välillä ole hitsin väsymiskestävyydessä merkittävää eroa.

Pienillä jännitystasoilla ja suurilla syklimäärillä ($> 10^7$ sykliä) hajonta on todella suurta. Toistaiseksi näin suuriin syklimääriin on päästy vasta muutamalla näytteellä, joista suurin osa ei ole rikkoutunut testin aikana (runout). Näin ollen erittäin suurten syklimäärien väsymiskestävyydestä ei voida tehdä näiden testien pohjalta minkäänlaisia johtopäätöksiä.

Metallurgiset tutkimukset

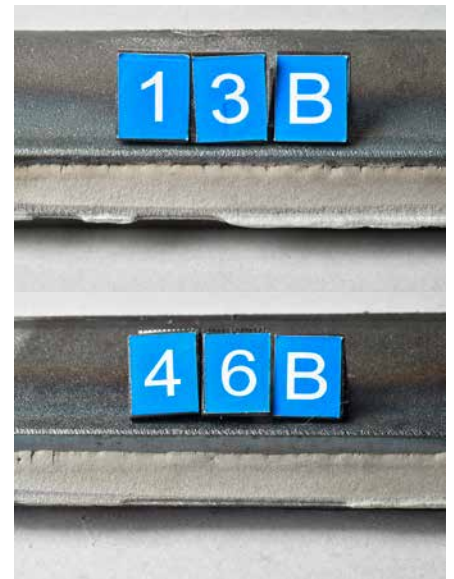
Näytteiden murtopinnat tutkittiin silmämääräisen tarkastelun lisäksi optisella mikroskoopilla, sekä valituille näytteille tehtiin myös elektronimikroskoopitarkastelu (SEM, Scanning Electron Microscope) ja EDS (Energy Dispersive Spectroscopy) -alkuaineanalyysijä.

Kuvissa 6-9 on esitetty kaikkien teräslaatuja hitsseille tyypillisimpiä murtopintoja. Hitsin juuri on kuvien yläosassa. Silmämääräisen tutkimuksen perusteella S235 ja S355 (m) hitsit olivat laadultaan erittäin hyviä. Ainoat hitsausviat, mitä näistä näytteistä löydettiin, oli vähäinen huokoisuus. Suurimmat huokokset olivat halkaisijaltaan vain alle 1 mm kokoisia. Tunkeuma S235 hitseissä oli erinomainen, kuva 6. Teräksellä S355 (m) tunkeuma vaihteli erinomaisesta kohtalaiseen hyvään, kuva 7.

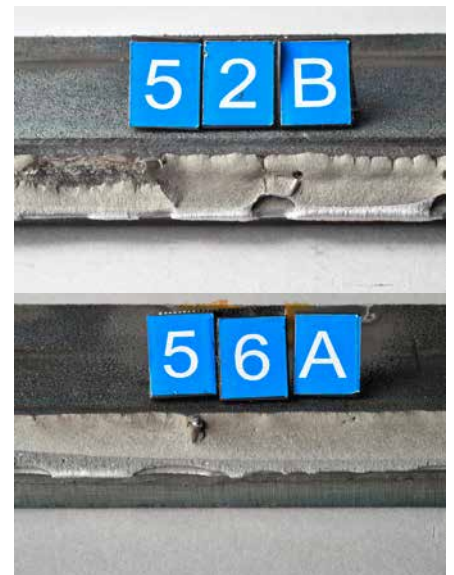
S355 (k) hitsit olivat laadultaan erittäin vaihtelevia, kuva 8. Näytteiden toimittaja oli sama kuin S235 ja S355 (m) teräksillä ja myös hitsausparametrit olivat vastaavat (taulukko 2). Tästä huolimatta hitseissä ilmenneitä hitsausvikoja ja -virheitä olivat mm. vaihteleva tunkeuma, laajat liitosvirheet ja läpisulamien. Muutamissa näytteissä oli myös pisaranmuotoisia metallisulkeumia. Sulkeumat olivat muodostuneet, kun me-



Kuva 6. S235 hitseissä oli hyvä tunkeuma ja ne olivat muutenkin laadukkaita.



Kuva 7. Osassa S355 (m) hitsejä oli syvä tunkeuma (yllä), mutta osassa tunkeuma oli jonkin verran pienempi (alla). Muuten hitsit olivat oikein hyvälaatuisia.



Kuva 8. S355 (k) hitseissä oli vakavia hitsausvirheitä, kuten liitosvirheitä, läpituunkeumaa ja suuria metallisulkeumia.

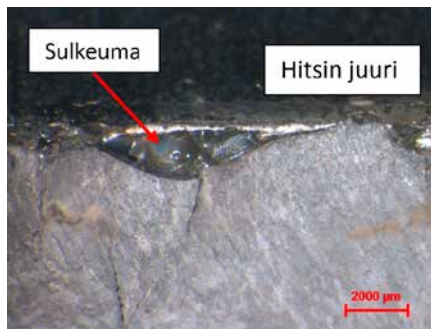


Kuva 9. S355 MC, liitosvirheitä ja huono tunkeuma.

tallipisararat eivät hitsauksen yhteydessä ole sulautuneet muuhun hitsisulaan. Jotkin S355 (k) näytteet olivat päällisin puolin hyvälaatuisia.

Toimittaja 2 käytti hitsausnäytteisiin materiaalina S355 MC, joka on termomekaanisesti valssattu hienoraeteräs. Hitsien tunkeuma oli selvästi vaatimattomampaa kuin toimittaja 1 valmistamissa näytteissä. Lisäksi suurimmassa osassa näytteitä oli vakavia liitosvirheitä, esim. kuva 9. Koostumuksensa ja hiilikvivalenttinsa perusteella S355 MC on helposti hitsattava materiaali. Siksi vakavat hitsausvirheet ja niiden runsaus olivatkin yllätyksiä. Hitsausparametreista voidaan havaita, että hitsausjännite ja varsinkin hitsausvirta ovat olleet toimittaja 2:lla selvästi pienempiä kuin toimittaja 1:llä. Tämän johdosta myös hitsausenergia ja lämmöntuonti ovat olleet huomattavasti alhaisempia ja todennäköisesti olleet merkittävässä roolissa liitosvirheiden muodostumisessa. Hitsausvirran pienuus on vaikuttanut myös voimakkaasti huonoksi jääneeseen tunkeumaan.

Tutkimukset optisella mikroskoopilla vahvistivat S235 ja S355 (m) teräksiin tehtyjen hitsausten olevan hyvälaatuisia. Sen sijaan S355 (k) ja S355 MC terästen hitseistä löytyi erilaisia hitsausvikoja. Hitsien juurissa oli kellertävän valkoisia ja läpikuultavan harmai-



Kuva 10. Harmaa, läpikuultava sulkeuma S355MC hitsin juuressa.

ta sulkeumia, kuten kuvassa 10. Samankaltaista epämetallista epäpuhtautta oli selvänä kerroksena myös liitosvirheiden alueella.

Löytyneitä sulkeumia ja epäpuhtauksia tutkittiin tarkemmin SEM ja EDS -tutkimuksilla. Analyysit viittasivat kaikkien jäämien olevan piitä ja mangaania sisältäviä oksideita (Si-Mn-oksidi). Si-Mn-oksideita syntyy yleisesti MAG-hitsauksessa. Eräinä piin ja mangaanin tehtävinä on poistaa palamisreaktiolla hitsisulasta happea ja epäpuhtauksia. Löytyneet oksidit ovat seurausta tästä palamisreaktiosta. Tavallisesti oksidit nousevat hitsisulan pinnalle, eivätkä aiheuta liitokseen mekaaniseen lujuuteen vaikuttavia ongelmia vaan ainoa haitta on heikentynyt maalin kiinnipysyvyys. Terästen S355 (k) ja S355 MC tapauksissa kuitenkin Si-Mn-oksidit olivat jääneet joko hitsin juureen muodostaen sulkeumia ja toisaalta kerääntyneet myös hitsirailon kylkiin. Kuvassa 11 on esimerkit SEM-kuvina molemmista tapauksista.

Suurimpana motivaationa väsytyksestä tutkimukselle on hitsattujen teräsrakenteiden mitoituksen luotettava hallinta genset-sovelluksessa. Teräsrakenteet nähdään kustannustehokkaina rakenteina ja niiden väsymiskestävyyden on hallittavissa Wärtsilän genset-sovelluksessa huipputaso tieteellisellä osaamisella.

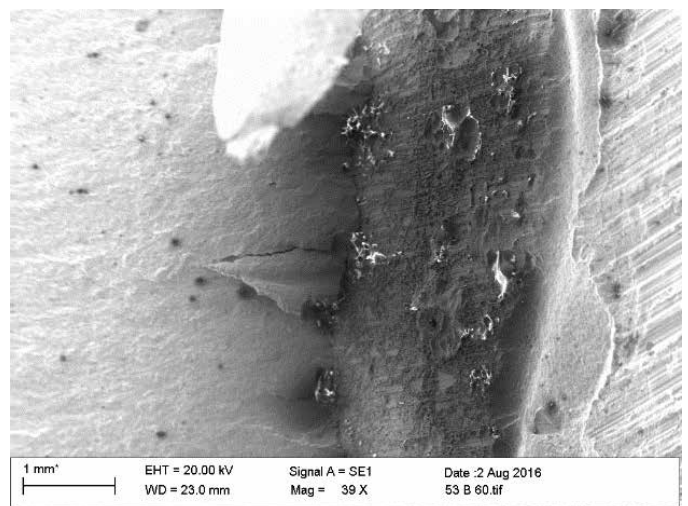
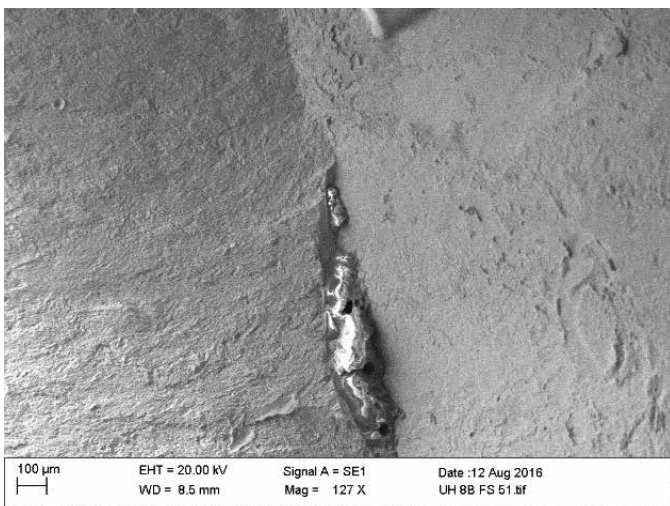
Tähän mennessä tehtyjen väsytystestien ja metallurgisten tutkimusten tulosten perusteella Wärtsilässä ollaan päivitetty genset-alustojen laatuvaatimuksia. Työ on antanut oppia väsymiseen liittyvistä kriittisistä tekijöistä ja itse väsytystestauksesta. Testilaitte on osoittautunut toimivaksi ja suoritettujen HCF-testien tulosten perusteella ollaan sujuvasti siirtymässä kohti UHCF-alueen väsytystestaukseen.

UHCF-testauksella luodaan jatkossa Wärtsilän mitoituskriteerit gigasyklialueelle. UHCF-testejä tullaan suorittamaan usean testilaitteen voimin. Tavoitteena on, että tulevaisuuden UHCF-mitoituskriteereillä hallitaan jäännösjännitykset, hitsausprosessi, erityyppiset liitokset, hitsausvirheet ja moniaksaalinen väsyminen.

Lähteet

- [1] Kämäräinen, Panu, High-Cycle Fatigue Testing of Fillet Weld Root Side Using Mock-up Specimens, Diplomityö, Tampereen Teknillinen Yliopisto, Materiaaliopin laitos, Tampere, 2016, 97 s.
[2] Recommendations for Fatigue Design of Welded Joints and Components, IIW Fatigue Recommendations IIW-xxxx-13/XIII-2460-13/XV-1440-13, International Institute of Welding (IIW), Paris, France, 2013, 158 s.

Panu Kämäräinen
DI, Materials Expert
Marine Solutions
Wärtsilä Finland Oy
panu.kamarainen@wartsila.com
ja
Tero Lokasaari
DI, Senior Development Manager
Energy Solutions
Wärtsilä Finland Oy
tero.lokasaari@wartsila.com



Kuva 11. SEM-kuvia: a) Si-Mn-oksidisulkeuma hitsin juuressa b) Si-Mn-oksidi epäpuhtauksia liitosvirheen railopinnalla.

Hitsien vikasietoinen väsymismitoitus

Petteri Kokkonen, Pekka Nevasmaa ja Jouni Ahtiainen



Hitsigeometrian paikallisilla vaihteluilla sekä liitettävien levyjen sovitusriveillä ja kulmapoikkeamilla on merkittävä vaikutus hitsatun rakenteen väsymiskestävyyteen. Kaikkia näitä hitsaavaan valmistukseen ja sen esivaiheisiin liittyviä tekijöitä ei aina kyetä sisällyttämään yleisesti käytetyin pienin koesauvoin tehtäviin laboratoriokokeisiin. DIMECC MANU-ohjelman Digfosure-projektissa VTT Oy ja Sandvik Mining and Construction Oy tutkivat hitsauksen laadunvaihtelun vaikutusta todellista rakenneosaa jäljittelevien, liitosmuodoiltaan tuotantohitsejä vastaavien suuren mittakaavan mock-up-koekappaleiden väsymiskäyttäytymiseen.

Jotta normaalin hitsigeometrian vaihtelun ja erilaisten sovitusriveiden vaikutusta voidaan arvioida suunnittelussa ja lujuuslaskennassa, VTT:ssä kehitettiin vikasietoisen väsymismitoituksen menettelyjä, joilla voidaan mitata hitsien laadunvaihtelua, arvioida sen vaikutus hitsatun rakenteen väsymiskestävyyteen, määritellä laadunvaihtelulle hyväksymisrajat ja mitoittaa rakenne ennalta määritellylle laadunvaihtelulle. Tavoitteena oli luoda käyttökelpoisia työkaluja todellisen hitsatun rakenneosan väsymiskestoikään vaikuttavien tekijöiden laskennalliseen tarkasteluun.

Johdanto

Hitsauksen näkökulmasta hyvä tuote on valmistettavissa hyvää konepajakäytäntöä noudattaen ilman erityistoimenpiteitä, eikä hitsauksen normaali laadunvaihtelu aiheuta väsymisvaurioita ja täten odottamattomia takuu- tai korjauskustannuksia. VTT Oy ja Sandvik Mining and Construction Oy kokeilivat MANU-ohjelman Digfosure projektissa yhteisenä konseptitarkasteluna, kuinka todellista rakenneosaa jäljittelevällä ja liitosmuodoltaan sitä vastaavalla mock-up-väsytyскоekappaleella voidaan arvioida normaalin konepajavalmistuksen laadunvaihtelun vaikutusta kuormaa kantavan pienahit-

satun T-liitoksen väsymiskestävyyteen vakioamplitudisessa kuormituksessa. Tällaisella yksinkertaistetulla koekappaleella voidaan tehdä kustannustehokkaasti ja toistettavasti kuormaa kantavien hitsausliitosten väsytysokeita mm. käyttäen todellisia liitosmuotoja ja sisällyttämällä koekappaleisiin erilaisia sovitusriveitä ja kulmapoikkeamia. Mock-up-väsytyскоekappaleet asettuvatkin perinteisten, pienin koesauvoin tehtyjen kokeiden ja varsinaisten komponenttikokeiden välimaastoon. Suunnitelmalla koekappaleet huolellisesti saadaan mock-up-väsytysokeissa yhdistettyä perinteisten koekappaleiden edut: tilastollisesti kattava koesarja voidaan ajaa varsin nopeasti käyttäen kuormituskehää, ja

liitoksen geometria ja jännitys jakauma vastaavat pientä standardikoesauvaa huomattavasti paremmin todellisen kohderakenteen hitsausliitoksia ja rasiuksia. Yleiskuva koekappaleiden suunnittelusta, valmistuksesta ja tutkimuksista on esitetty kuvassa 1.

Mock-up-koekappaleet sopivat kiinnityksiltään selkeinä mainiosti myös testikappaleiksi väsymislaskennan menetelmien kehitykseen ja validointiin. Mock-up-koekappaleen etuna todellisiin komponenttikokeisiin nähden on, että koekappale voidaan kiinnittää suoraan kuormituskehän kiilaleukoihin, jolloin ruuviliitoksia ei tarvita ja koekappaleen tuenta on selkeästi määriteltävissä myös lujuuslaskentamalleissa.

Tavoitteet

Tavoitteena oli tarkastella väsymiskestävyyttä kuormaa kantavissa, käsin MAG-hitsatuissa T-liitoksissa. Koeohjelmaan ideoitin ja suunniteltiin Kuvan 1 mukainen mock-up-väsytysoekoppale, joka mitoitettiin parametrisella FE-laskennalla. Mitoituksen tavoite oli varmistaa, että koekoppale murtuu hallitusti hitsin kohdalta eikä esim. kiinnityksistä tai perusaineen jännityskeskittymistä. Koekappaleet valmistettiin Sandvikilla pyrkien 'normaalin konepajakäytännön' mukaiseen hitsauslaatuun ja levyjen sovitustarkkuuteen (hitsiluokka C). Kaksipuolisten pienahitsien a-mitta oli 7 mm ja hitsaus tehtiin käyttäen kolmea palkoa / puoli.

Koekappaleiden suunnittelussa tehtiin tarkoituksellisesti pesäeroa laboratoriohitauksessa tavoiteltavissa oleviin äärimmäisen korkeisiin FAT-luokkiin kuormaa kantamattomissa hitsidetalleissa. Liitostyyppiä valittiin yleisesti käytetty kuormaa kantava, kahdelta puolen pienahitsattu T-liitos, jolle on löydetävissä paljon vertailulokkia. Hitsausyössä pyrittiin tietoisesti pikemminkin liioitellun 'karkeaan' valmistukseen, jotta koekappaleisiin saatiin sisällytettyä valmistuksen laadun hajontaa. Tällä tavoin oli mahdollista kokeilla, kuinka suunnitellut mock-up-koekappaleet soveltuvat poikkeamia sisältävien rakennekytisköhtien väsytystestaukseen.

VTT:n sovelluskehityksen perimmäisenä tavoitteena on hallita erilaiset liitosmuodot ja valmistuksen laadunvaihtelun vaikutus hitsattujen rakenteiden väsymismitoituksessa. Koekappaleen mallinnus ja laskentatulosten käsittely tehtiin parametriseina ja automati-

soituna Ansys ADPL-makroilla, jolloin voitiin ajaa paljon laskentatapauksia ja kätevästi kokeilla erilaisia mallinnustapoja kehitystyön edetessä.

Koekappaleiden suunnittelu ja mitoitus

Koekappale suunniteltiin toimintaperiaatteeltaan momenttikehäksi, jota kuormitetaan pystylevyillä. Näin saadaan hitseille taivutuskuormitus. Hitsin vaakalevyn puoleinen rajaviiva on rakenteessa väsymiskestävyyden kannalta kriittisin kohta. Hitsin juuren puoli ei ole kriittinen taivutuskuormituksessa. Momenttikehä tehtiin RHS-profiilista, jolloin kotelo ei tarvinnut erikseen koota hitsaamalla. Koekappaleen jousto suunniteltiin 10...20 Hz kuormitustaajuudelle, jolloin koesarja voitiin ajaa nopeasti. Koekappaleeseen lisättiin kevennysaukkoja, joilla pienennettiin hitsin jännitysjakamaa kappaleen reunoilla. Näin kappaleen reunoja ei tarvinnut erikseen hioa, ja säröt ydintyivät kaikissa tapauksissa rajaviivalta, hitsin pituussuunnassa sen keskikohdalta. Vetolevyjen kaulat koneistettiin levyn reunoilta polttoleikkauksen jälkeen, koska sovitusrakenteet aiheuttavat melko korkeita taivutusjännityksiä vetolevyille. Tavanomaisen jäysteenpoiston lisäksi ei tarvittu muuta hiontaa. Näin kappaleiden jälkikäsittely vastaa normaalia raskasta konepajavalmistusta.

Laskentamenetelmien kehityksessä on eduksi käyttää selkeää, mutta kuitenkin jännitysjakamaltaan realistista koekappaleita. Mock-up-kappaleen rakenne on kyllin yksikertainen parametriseina mallin-

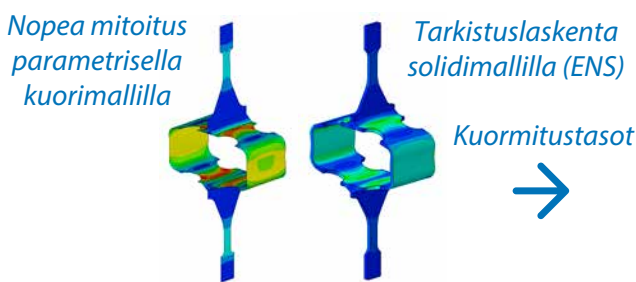
nukseen, mutta esim. kevennysten vaikutus jännitysjakauksiin tuo esiin käytännön mitoituslaskennan haasteet. Levyjen sovitusrakenteet tuovat kokeisiin ja laskentaan tyypillisen konepajavalmistuksen realismia. Parametrinen mallinnus mahdollistaa mittojen variaation, sekä toimivien mallinusoletusten ja sujuvien työkulujen hakemisen. Koekappaleita sovitusrakenteeseen voidaan käyttää myös FE-laskennan ja nopeaan väsymismitoitukseen soveltuvien menetelmien verifiointiin.

Tutkimuksessa koekappale mitoitettiin suunnittelun jälkeen parametriseilla kuorimallilla (keskipintamallilla) Ansys APDL-makroilla. Lopullinen rakenne tarkasteltiin solidielementimallilla käyttäen lovi-jännitysmenetelmää. Väsytysokeen kuormitustasot määriteltiin FE-analysin ja lovi-jännitysten perusteella.

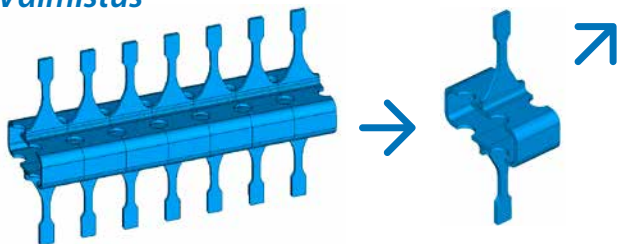
Väsytysoekappaleiden valmistus

Koekappaleiden materiaaliksi valittiin tavanommainen rakenneteräs S355, jonka SSAB toimitti RHS-putkena. RHS-putkeen tehtiin kevennykset poraamalla ennen hitsausta. Vetolevyt ostettiin reunat koneistettuina leikkeinä alihankkijalta. Sandvik Mining and Construction Oy:n Turun tehdas hitsasi koekappaleet yhtenä pitkänä 7 kappaleen kokonaisuutena lisäpaloineen; tästä paloitteltiin ja viimeisteltiin yksittäiset koekappaleet konesahalla, kuva 1. Hitsaus pitkänä vastaa normaalin hitsausliitoksen olosuhteita. Toisesta hitsausta koekappaleesta (kappale A) poistettiin kuona paineilmaikäyttöisellä kuonahakulla ja

Koekappaleiden mitoitukselaskenta

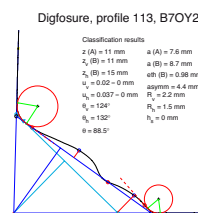


Valmistus



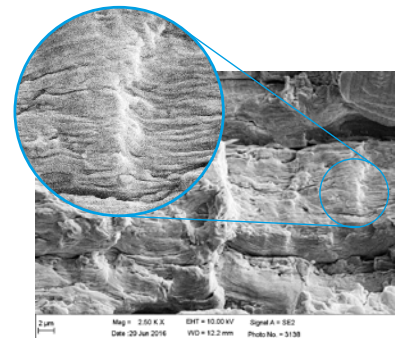
Hitsaus Sandvik Oy, teräs SSAB Oy
Leikket ja paloittelu KTS-mekano Oy

Väsytysokeet

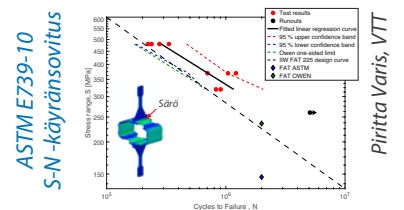


Hitsigeometriat

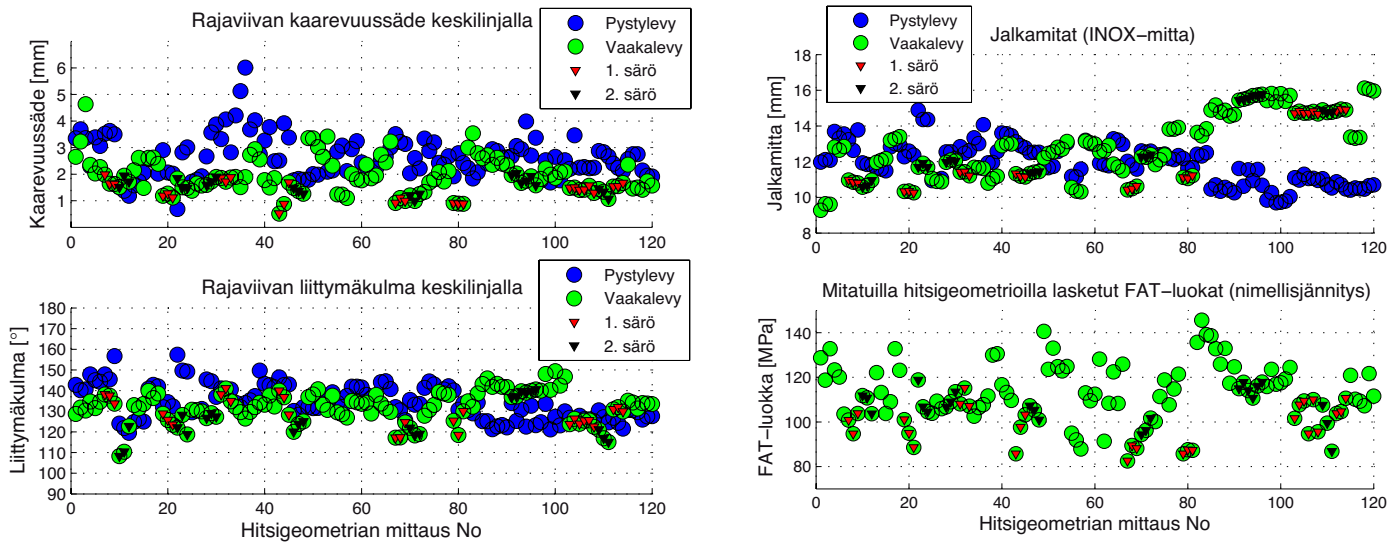
Murtopintatutkimukset



S-N-käyrä ja FAT-luokka



Kuva 1. Yleiskuva mock-up-koekappaleiden suunnittelusta, valmistuksesta ja tutkimuksista.



Kuva 2. Hitsien kaarevuussäteet ja liittymäkulmat, sekä koekappaleissa esiintyneet primääri- ja sekundäärisäröt.

toiseen kappaleeseen jätettiin kuona kiinni (kappale B).

Geometriamittaukset

Koekappaleiden vetolevyjen sovitusrvirheet mitattiin VTT:n Faro-laserskannerilla. Tasomainen sovitusrvirhe ja kulmapoikkeama eroteltiin mittaustuloksista. Kappaleen B toinen vetolevy oli kaareutunut hitsauksessa melko paljon. Täten väsytyскоekappaleet jouduttiin irrottamaan kappaleen B reunoilta, sillä keskiosan kappaleilla vetolevyjen sovitusrvirhe oli jo liian suuri vetokoneen leuoille. Lisäksi kuonanpoistossa käytetty paineilmatallta oli jättänyt iskujälkiä kappaleen A hitseihin. Kuonahakun jäljet näkyivät selvästi myös skannatuissa hitsigeometrioissa. Niitä ei luokiteltu tai käytetty mallinnuksessa, koska VTT:ssa tehtyjen profilometrimittausten tulokset osoittautuivat laserskannattuja tarkemmiksi.

Koekappaleiden sovitusrvirheiden aiheuttamat jännitykset laskettiin parametrisella FE-mallilla. Koekappaleesta tehtiin makrolla keskipintamalli käyttäen Farolla mitattuja mittapoikkeamia. Jännitykset hitseissä laskettiin kuormituskehään kiinnitettynä (molemmat leuat kiinni) ja kuormituksen alaisena.

Hitsigeometriat mitattiin profilometrillä kappaleiden keskikohdilta sekä ± 1 mm etäisyydellä pituus suunnassa kappaleen keskikohdalta. Hitsigeometriat luokiteltiin aiemmin VTT:ssa kehitetyllä Matlab-ohjelmalla [1]. Luokittelun tuloksena saadaan mm. hitsin rajaviivan pyörityssäteet, hitsipalon liittymiskulmat sekä pienahitsin kateettimitat (jalkamitat) ja a-mitat. T-liitosten jännitykset mitatuilla hitsigeometrioilla laskettiin Matlabilla profilometrin mittadatoista Ansys APDL-makroilla muodostetuilla FE-malleilla. Kuvassa 2 on esitetty esimerkki mitatuista hitsigeometrioista ja luokittelutuloksia.

Laadunvarmistus ennen kokeita

Kaksi koekappaleita paloitteltiin hiekiin, joista mitattiin kovuudet ja varmistettiin hitsin eheys sekä tunkeuma valomikroskooppissa. Lisäksi yksi koekappaleista tarkastettiin magneettijauheella pintasäröjen varalta. Poikkeamia tai säröjä ei havaittu. Kuvassa 3 on esitetty väsymismurtuman kohdalta leikattu poikkeileikkaushie.

Väsytykokeet

Väsytykokeissa mitattiin venymäliuskoilla koekappaleiden jännityksiä ja voimia kokeiden aikana. Kokeissa ajettiin $4 \times 3 \times 2$ kuormitustasoa. Kaikkien säröjen havaittiin ydintyneen hitsin rajaviivalta, kappaleen keskikohdasta. Säröjen kasvua seurattiin kokeiden aikana sähköisellä särömittarilla. Myös sekundäärisäröt paikoitettiin kokeiden jälkeen särömittarilla.

Kokeissa saatiin matalimman kuormitustason sarjan aluksi run-out-tulos n. 5×10^6 syklillä. Nostettaessa matalinta kuormitustasoa murtuivat jäljellä olevat kaksi koekappaleita jo hieman alle miljoonalla kuormanvaihdolla. Tavoite oli saada koetuloksia yli 2×10^6 syklin, jotta FAT-luokka voidaan arvioida interpoloimalla. FAT-luokka jouduttiin kuitenkin ekstrapoloimaan, koska kuormanvaihtojen lukumäärät jäivät koesarjalla alle 2×10^6 syklin. Run-out-tulosta ei käytetty S-N-käyrän alkuosan sovituksessa. ASTM:n mukaisesti S-N-käyrä sovitetaan ekstrapolointi johtaa joka tapauksessa konservatiiviseen FAT-luokan estimaattiin, esim. Owenin menetelmään verrattuna. VTT:llä kehitettiin kokeiden suunnittelun tueksi myös Matlab-työkalu, jolla voidaan arvioida hajonnan ja koekappaleiden lukumäärän vaikutusta FAT-luokan arviointiin. Tätä soveltaen tehtiin S-N-käyrän sovitus, jossa Matlab-sovellus käyttää ASTM

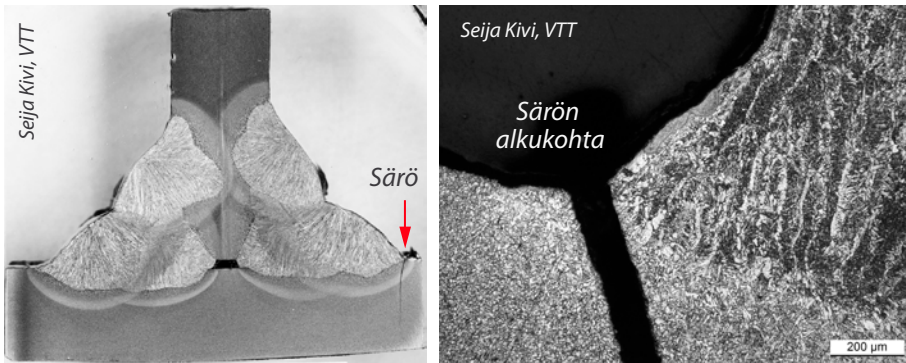
E739-10 standardin mukaisia menettelyjä. Koetulokset ja tehollisen loviännitysmenetelmän mukaisesti sovitettu S-N-käyrä on esitetty kuvassa 4.

Murtopinta- ja hietarkastelut kokeiden jälkeen

Primäärisäröt olivat kaikki hitsin rajaviivalta, hitsin pituus suunnassa sen keskikohdasta kasvamaan lähteneitä puolielliptisiä säröjä. Säröjen murtopinnat tutkittiin FEG-SEM-elektronimikroskooppilla, ja etenemisjäljet (striaatiot) identifioitiin koostettiin särönkasvunopeuden estimaatit murtopintojen yli. Särönkasvunopeuden arviointia murtopintojen etenemisjäljistä voidaan käyttää vaurioanalyysin tukena silloin kun tietoa rakenteen kuormitushistoriasta ei ole saatavilla. Koska periaatteessa jokainen kuormitussykli jättää murtopintaan jäljen, voidaan näiden etenemisjälkien välisistä etäisyyksistä arvioida väsymisvaurioon johtanutta kuormitushistoriaa. Etenemisjäljet näkyivät käytetyllä nykyaikaisella elektronimikroskooppilla selvästi S355-rakenneteräksen väsymissäröjen murtopinnoilla. Tarkastellut säröt ovat alkaneet karkearakeisen muutosvyöhykkeen (HAZ:n) alueelta, hitsin rajaviivan loven pohjalta.

Tulosten arviointi

Tyypillisesti hitsien rajaviivojen pyörityssäteet vaihtelevat käsinhitsauksessa paljon. Säröjen ydintyminen alkoi kokeissa hitseistä, joissa mitattiin koekappaleen keskikohdalla pienimmät rajaviivan pyörityssäteet. Kuonahakun iskemäjäljillä (paineilmataltan kuoppajonot) ei havaittu olevan vaikutusta



a) Tyypillinen särön alkukohta hitsin rajaviivalla poikkileikkaushieessä.

b) Särön alkukohta on rajaviivan karkearakeisella alueella loven pohjalla.

Kuva 3. Väsytykskoekiden jälkeen tarkasteltu poikkileikkaushie. Särön alkukohta on hitsin rajaviivalla karkearakeisen HAZ:n alueella. Hitsin paikallisesta geometriasta aiheutuva jännityskeskittymä on tällä kohtaa suurin.

hitsausliitosten väsymiskestävyyteen. Sovitusvirheiden vaikutus jännityksiin hitseillä on luokkaa max. ±20 % rakenteellisena jännityksenä.

Konseptitarkasteluna kokeillut mock-up väsytykskoekappaleet vaikuttivat toimivan suunnitellusti. Säröt ydintyivät laskelmien osoittamasta kohdasta hitsin rajaviivalta, hitsin pituussunnassa sen keskikohdalta. Koekappaleilla pystyttiin arvioimaan hitsigeometrian vaihtelun ja sovitusrakenteiden vaikutusta kuormaa kantavan pienahitsiliitoksen väsymislujuuteen käyttäen tavallista kuormituskehää ja kiilaleukakiinnitystä. Hitsigeometrian luokittelutulokset on esitetty kuvassa 2. Primääri- ja sekundäärisäröt esiintyivät koekappaleissa kohdissa, joissa hitsin rajaviivan pyöristyssäde on pienimmillään. Hitsipalon liittymiskulma korreloi myös melko hyvin säröjen ydintymiskohtien kanssa.

Kuvassa 2 on esitetty hitsien kateettimitat ja FE-analysillä mitatuista hitsigeometrioista lasketut FAT-luokat. Pienahitsin kateettimitoilla ei ole merkittävää korrelaatiota väsymissäröihin. Profiilimittausten ja luokittelun antamat pienimmät hitsin rajaviivan pyöristyssäteet ja mitatuista hitsigeometrioista FE-analysillä lasketut pienimmät FAT-luokat vastasivat hyvin hitsien niitä kohtia, joissa koekappaleilla esiintyi säröjä.

Koetuloksista sovitettu S-N-käyrä ja tilastomatemattisesti arvioitu luotettavuusraja (suunnittelukäyrä) jäävät jonkin verran IIW:n mukaista FAT225-suunnittelukäyrää alhaisemmiksi. Ero selittyy sovitusrakenteiden aiheuttamilla sekundäärisillä jännityksillä. Mock-up-väsytykskoekappaleessa on neljä hitsiä samassa kappaleessa, ja säröt ydintyivät hitsin niistä kohdista, joissa hitsin rajaviivan pyöristyssäde oli pienimmillään.

Run-out-tulos hieman yli 5×10^6 sykliillä poikkesi muista koetuloksista, kuva 4. Hietarkastelu ei osoittanut hitsissä poikkeamia, ja kappaleella oli vastaava hitsigeometria kuin muillakin saman sarjan hitseillä. Run-out-tuloksen syklimäärä jää kuitenkin 95 % hajonnan sisään, joten kyseessä on normaali

hitsausliitosten väsymiskestävyyden hajonta. Sovitusvirheet ja niistä johtuvat sekundääriset jännitykset vaihtelevat koekappaleiden välillä, mikä selittää koetulosten hajontaa.

Mock-up-väsytykskoekappalekonseptin laajennus

Mock-up-väsytykskoekappaleen konsepti skaalattiin suunnitteluharjoituksena myös nyt tutkittua 8 mm levynpaksuutta paksummille levyille ja suunniteltiin hitsatulle kotelolle. Konseptitarkastelussa käytettiin RHS-putkea, mutta suunnitteleamalla koekappaleen momenttikehää hitsattuna kotelona voidaan tarkastella myös nurkkaliitoksia tai kotelon nurkkiin sijoitettuja piena- tai päittäishitsejä.

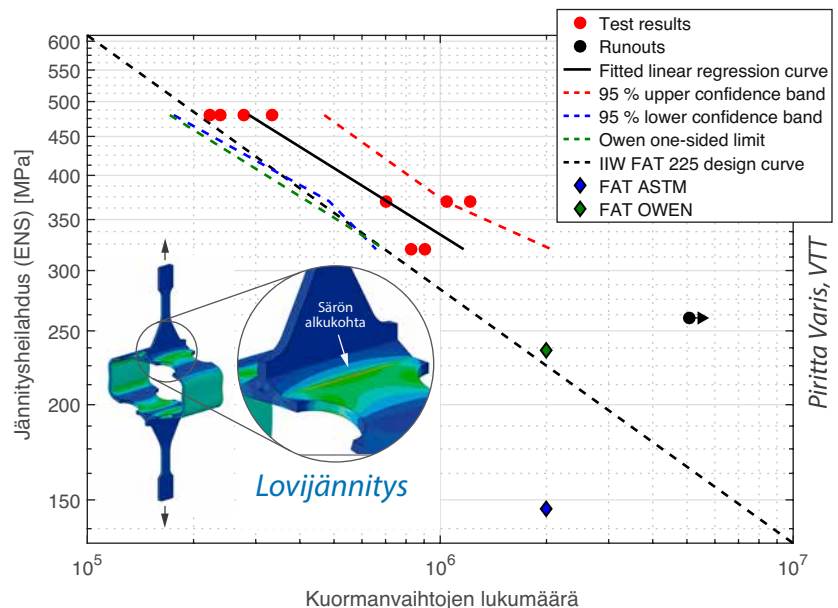
Hitsatulla kotelolla voidaan tarkastella koekallisesti erilaisia liitosmuotoja kotelon

laipan ja uumalevyjen välillä. Momenttikehää käyttäen hitseihin saadaan helposti muodostettua suuriakin taivutusrasituksia; täten käytetty konsepti soveltuu järeidenkin liitosten väsytykskokeisiin normaaleilla kuormituskehillä. Kehitetyllä mock-up-koekappaleella voidaan tutkia esim. hitsattujen puomien ja kotelorakenteiden uuman ja laipan välisten hitsausliitosten väsymiskestävyyttä. Sovitusvirheitä voidaan tarvittaessa helposti sisällyttää koekappaleisiin. Koekappaleen alustavassa suunnittelussa rakenteeseen muotoiltiin kevennyksiä, joilla väsymiskriittinen kohta saadaan siirrettyä vetolevyn hitsiltä kotelon nurkan hitsille. Parametrinen FE-mallinnus kevyellä kuorimallilla (keskipintamallilla) ja automatisoitu tulosten tarkastelu mahdollistavat nopean mittojen variaation ja toimivan koekappaleen suunnittelun. Lopullinen rakenne on vielä hyvä analysoida solidimallilla ja loviännitysmenetelmällä. Hitsattuna kotelona suunniteltu koekappalekonsepti soveltuu 25...100 mm laipan ja 10...25 mm uuman paksuuksille, yhdeltä tai kahdelta puolen hitsatulle kotelolle. Hitsin tunkeuma ja pienahitsien koko voidaan valita koekappaleessa tarpeen ja kohderakenteen mukaan.

Lähdeviite

[1] Kokkonen, P., Riihioho, R., Kupiainen, V., Kallinen, E., Sirén, M. ja Nevasmaa, P. 'Hitsien ohjelmallinen luokittelu ja väsymiskestävyyden arviointi mitatulla hitsigeometrialla'. Hitsaustekniikka 63 (2013) 3. s. 13-19.

Petteri Kokkonen ja Pekka Nevasmaa
Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy
ja
Jouni Ahtiainen
Etteplan Oy



Kuva 4. Koetulokset ja sovitettu S-N-käyrä (tehollisen loviännityksen mukainen IIW FAT-suunnittelukäyrä).

Suunnittelijan ja valmistusinsinöörin roolit digimaailmassa?

Dan Pada, Jussi Minkkinen, Ilkka Sorsa, Jaakko Haapio, Kristo Mela ja Markku Heinisuo

Mitkä ovat suunnittelijan ja konepajainsinöörin toimenkuvat tulevaisuuden digimaailmassa, kun automaatio tekee suurimman osan heidän rutiinilaskenta- ja -suunnittelutyöstään? Muun muassa tämä kysymys nousi esiin DIMECCin Manu-ohjelman DigMap/Optimization platform- osaprojektissa, jossa tutkittiin teräsrakentamisen arvoketjun digitalisoinnin tarjoamia mahdollisuuksia. Oman tulisen mausteensa tutkimuskeitoon toi lujien terästen viitekehys, mikä sekin on rakentamisen tulevaisuutta.

Tutkimus vahvisti sen, mikä on todettu Saksan autoteollisuudessa vuosia sitten. Digimaailmassa palkkakustannus ei ole merkittävä kilpailutekijä vaan osaaminen. Se, että valot palavat konepajoissamme ensi vuosikymmenelläkin, on todella meistä kiinni.

Kokonaisuus haltuun suunnittelussa

Valtaosa rakenteen kokonaiskustannuksista määräytyy suunnittelijan tekemien valintojen seurauksena. Työnsä hyvin tekevä suunnittelija pyrkiikin mahdollisimman taloudelliseen ratkaisuun. Tyypillisesti suunnittelijalla ei kuitenkaan ole käytettävissään yksityiskohdista kustannustietoa valmistuksen ja asennuksen vaiheista, joten päätökset tehdään kokemuksen ja insinöörijärjen perusteella. Perinteisesti taloudellista ratkaisua on tavoiteltu pyrkimällä mahdollisimman keveään rakenteeseen.

Tutkimuksissa on kuitenkin useasti osoitettu, että kevein ja edullisin rakenne eivät yleensä ole sama asia. Kokenut suunnittelija löytää todennäköisesti taloudellisen ratkaisun varsinkin tutuissa tilanteissa, mutta usein ajaututaan polveilevaan vuoropuheluun konepajan kanssa, kun alkuperäistä suunnitelmaa joudutaan muuntelemaan valmistuskustannuksiltaan taloudellisemmaksi. Pahimmillaan tähän kuluu paljon aikaa, mikä kasvattaa tarpeettomasti suunnittelun kustannuksia ja aiheuttaa viivytyksiä konepajalle.

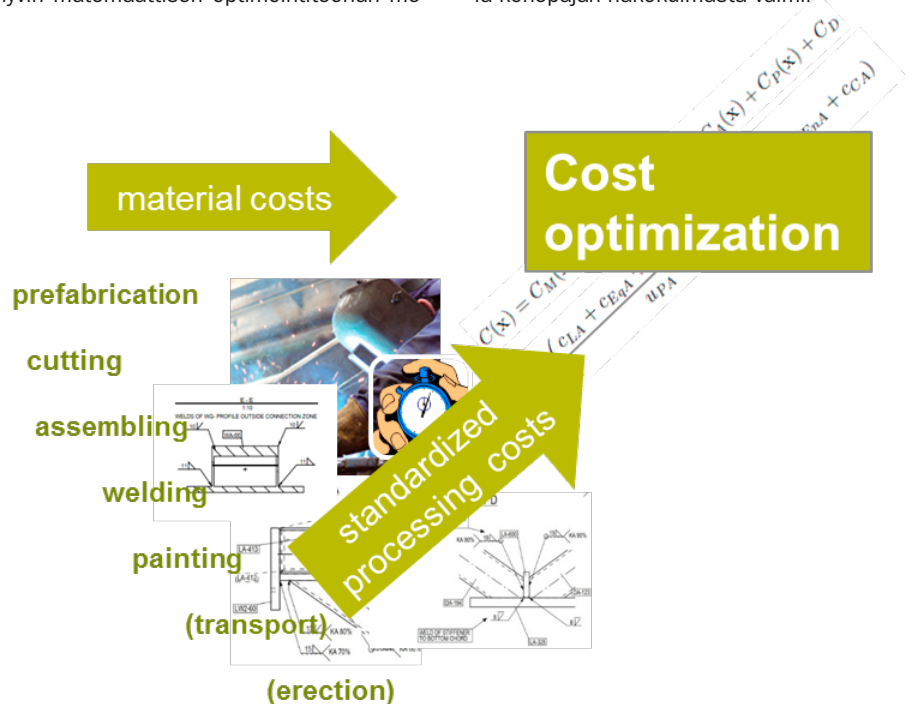
Suunnittelu- ja valmistustyötä voidaan sujuvoittaa tarjoamalla suunnittelijalle tarkempaa tietoa konepajakustannuksista. Tällöin suunnittelija näkee heti valintojensa kustannusvaikutukset, mikä ohjaa kohti taloudellisempia ratkaisuja. Konepajalla mitatusta kustannustiedosta voidaan laatia yksityiskohdaisiakin malleja kustannuslaskentaa varten. Tällaista tietoa käyttäen suunnittelija voi esimerkiksi tutkia, kannattaako tietyssä tilan-

teessa käyttää pienahitsiä vai päittäishitsiä. Vastaavaa kustannustietoa voidaan kerätä myös muista vaiheista, kuten kuljetuksesta ja asennuksesta. Kustannustiedot ja niistä laaditut mallit voidaan liittää suunnittelijan käyttämiin ohjelmistoihin. Näin suunnitteluun ei tarvitse tuoda uusia erillisiä ohjelmia.

Kokonaisuutta voidaan entisestään tehostaa automatisoimalla suunnittelutyötä sekä suunnittelijan ja konepajan välistä yhteyttä. Tähän tarkoitukseen soveltuvat erityisen hyvin matemaattisen optimointiteorian me-

netelmät. Optimoinnin avulla suunnittelun rutiinityötä, kuten poikkileikkausten valinta, voidaan siirtää suunnittelijalta koneen tehtäväksi. Näin suunnittelijan aikaa vapautuu luovalle työlle.

Kustannusten mallinnus, optimointi ja digitaalinen tiedonsiirto mahdollistavat projektin etenemisen saumattomasti suunnittelupöydältä konepajalle ja edelleen työmaalle. Tämän menettelyn erityisenä etuna on, että suunnitelmat ovat heti ensimmäisellä kerralla konepajan näkökulmasta valmiit



Kustannusten optimointi rakenteen suunnittelussa.

FrameCalc

Manu-projektissa tehdyn optimointitutkimuksen pohjalta SSAB on kehittänyt myös käytännön sovelluksen kattoristikoiden suunnitteluun putkista, FrameCalcin. Se on nettiselainpohjainen työkalu, mikä helpottaa ja nopeuttaa merkittävästi suunnittelu-prosessia. Syöttämällä muutamia keskeiset perustiedot, kuten ristikon geometrian ja kuormitukset, ohjelma osaa itse mitoittaa rakenteen. Se hallitsee myös topologiaoptimoinnin, mikä johtaa usein vielä kevyempiin rakenteisiin. Olennaisin osa on kuitenkin mahdollisuus optimoida rakenne valmistuskustannusten osalta sekä vertailla nopeasti ja tehokkaasti eri materiaalivaihtoehtoja. FrameCalc on ollut beta-testauksessa loppuvuodesta 2016 ja on nyt otettu rajattuun mutta laajempaan käyttöön SSAB:n asiakkaiden sekä suunnittelutoimistojen toimesta.

Digitalisaatio mullistaa valmistuksen

Merkittävä edistysaskel digitalisaatioketjussa on tapahtunut valmistuksessa. Kun tehdään pieniä sarjoja, kuten Suomessa tyypillisesti, suunnittelijan tuottaman tiedon siirtäminen valmistuksen asetusarvoiksi edustaa manuaalisesti tehtynä merkittävää työ määrää ja riskiä virheisiin. Tällä hetkellä



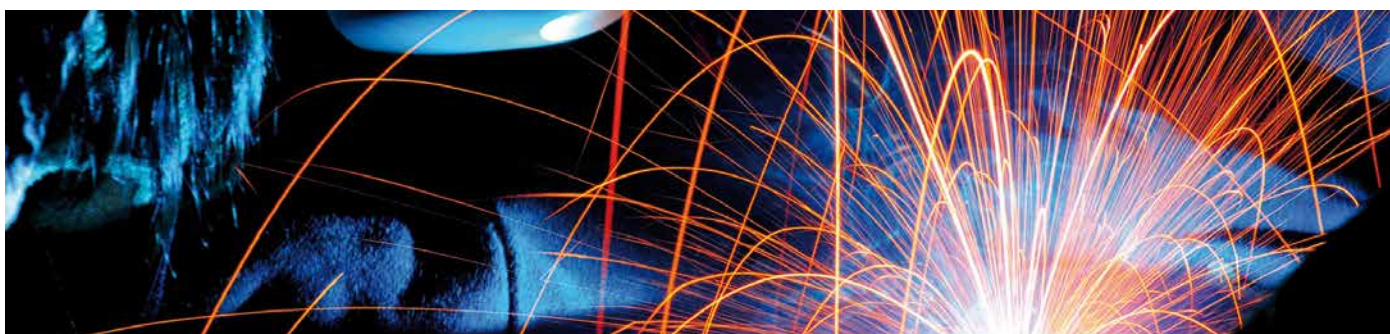
Ristikon robotihitsauskoe.

rakennusteollisuuden konepajojen automaatioaste on varsin alhainen. NC-koneita ovat esim. sahat, porat, termiset leikkausyksiköt ja jauhekaarihitsauslaitteet, mutta niissäkin asetukset tehdään useimmiten käsin, lähtötietodokumentteja lukien. Hitsausrobotteja ei tällä toimialalla juurikaan ole. Tähän lienee ainakin kaksi syytä. Hitsejä ei vielä mallinnetta ja mallinnetunkin hitsin tiedon siirtämisessä robotin ymmärtämään muotoon on puuttuva lenkki. Lenkkiä tulisi lähteä rakentamaan suunnittelu edellä. Mallinnettuja hitsejä voidaan hyödyntää jo ilman robotisointiakin. Monesti monimutkaisten rakenteiden hitsien esittäminen piirustuksissa on epähavainnollista ja voi johtaa virheisiin. Mallinnettujen hitsien tarkastelu mallia pyörittelemällä esim. tabletilla lisää varmuutta oikeanlaisesta lopputuloksesta.

E erityisesti korkealujuusterästen hitsauk-

ssa lämmöntuonnin hallinta on avaintekijä. Parametri-ikkuna on kapea. Mallinnetut hitsit mahdollistavat niiden digitaalisen käsittelyn ja hitsikohtaisen digiWPS:n laatimisen. Tämä tieto on silloin joko hitsarin tai robotin käytettävissä. Tilaajan on kuitenkin ymmärrettävä, että digitalisaatio lisää suunnittelijan työmäärää, joka on huomioitava aikataulussa. Karu totuus kuitenkin on, että merkintä "a-mitta on 1.2 x ainevahvuus ellei muuta mainita" paperisen piirustuksen alareunassa johtaa usein ylimitoitukseen ja merkittävään tuottavuuden menetykseen.

Dan Pada ja Ilkka Sorsa, Ruukki Construction Oy
Jussi Minkkinen, SSAB Europe
Jaakko Haapio, Oulun yliopisto
Kristo Mela ja Markku Heinisuo, Tampereen teknillinen yliopisto



VAIKUTTAMINEN KOULUTUS HITSAUSTIETOUS

- Hitsaavien yritysten kehityksen edistäminen ja toimintaedellytysten varmistaminen
- Kansainvälisen hitsauskoulutuksen organisointi
- Hitsaustiedon kokoaminen ja jakaminen



SUOMEN HITSAUSTEKILLINEN YHDISTYS RY.
Mäkelänkatu 36 A 2, 00510 Helsinki
Puh./Tel. +358 9 773 2199

www.hitsaus.net

Digitaalinen materiaalikehitys luo säästöä ja tehokkuutta teollisuuden materiaaliratkaisuihin

Matti Lindroos, Anssi Laukkanen, Tom Andersson ja Kenneth Holmberg

Digitaalisella materiaalikehityksellä pystytään saamaan aikaan kestävämpiä ja halvempia materiaaliratkaisuja tehokkaasti. DIMECCin ohjelmat Breakthrough Steels and Applications (BSA) ja Hybrid Materials (HYBRIDS) ovat hyödyntäneet laajasti modernin digitaalisen materiaalisuunnittelun menetelmää ja useita uusia materiaaliratkaisuja sekä innovaatioita on kehitetty onnistuneesti vastaten teollisuuden kriittisiin haasteisiin. Yhdistämällä sovellusympäristö, usean mittakaavan kattava mallinnus ja täsmällinen kokeellinen tutkimus oikealla tavalla, voidaan tuotekehitysaika puolittaa ja tuotteen tai komponentin luotettavuus nostaa uudelle tasolle.

Mitä on digitaalinen materiaalikehitys ja ICME?

Viimeaikainen globaali trendi materiaalien tuotekehityksessä pohjautuu niin sanottuun Integrated Computational Materials Science (ICME) -lähestymistapaan eli tietokoneavusteiseen materiaali- ja materiaaliratkaisujen kehitykseen. ICME tyypillisesti sulauttaa yhteen monitasomallinnuksen tekniikat ja materiaalikarakterisoinnin menetelmät. Monitasomallinnuksen etuna on se, että voidaan tarkastella käyttökohteen olosuhteita ja materiaalin käyttäytymistä lähtien makroskooppiselta tasolta aina erittäin yksityiskohtaiselle mikroskooppiselle tasolle asti ja sitäkin hienojakoisimmille aika- ja pituuskaaloille. Tyypillisesti makroskooppisella mallilla esitetään käyttökohteen tärkeimmät ilmiöt, kuten koneen tai laitteen dynaaminen käyttäytymisen ja siitä seuraavat kuormitusolosuhteet materiaalille. Prosessin mallintaminen auttaa selittämään vaikeasti nähtävillä ja mitattavissa olevat tilanteet sekä kvantifioi havainnot ja aikaisemmat kokemukset.

Kuormitusolosuhteet siirretään vaikuttamaan mikrorakennetasolla, jossa materiaalikehityksen kannalta tärkeimmät ilmiöt tapahtuvat. Esimerkiksi materiaalin mikrorakenteen paikallisen lujuuden tai haurauden vaikutus koko rakenteen kestävyysasteeseen ja

vaurioitumiseen pystytään esittämään tietokoneavusteisella mallinnuksella ja siten yhdistää se vallitsevaan kulumistapahtumaan. DIMECC:n BSA-ohjelmassa digitaalista monitasomallinnusta on hyödynnetty teräksen ja prosessin kehitykseen, esimerkiksi murskainnapplikaatioissa. Makrotason malli tuottaa helposti tarkasteltavan analyysin murskauksesta, missä materiaalin kulumiselinkaarta ja laitteen energiatehokkuutta pyritään parantamaan muuttamalla prosessiparametreja mallin sisällä. Mikrorakennetason mallit sisältävät yksityiskohtaista tietoa materiaalin käyttäytymisestä murskauksen aikana. Kulukskestävyyttä voidaan optimoida muuttamalla mikrorakennetta suunnitteluparametrien mukaan, kuten raekokoa varioimalla. Erilaisia kustannustehokkaampia ratkaisuja voidaan kokeilla ilman mittavaa testausta muuttamalla kuluva materiaali toiseen.

Mitä etua monitasomallinnuksesta on tavanomaisempaan lähestymistapaan nähden?

Karkeamman makrotason mallit eivät pysty esittämään materiaalin sisäistä käyttäytymistä tarpeeksi tarkasti vaan ne esittävät materiaalin käyttäytymisestä homogenisoit-

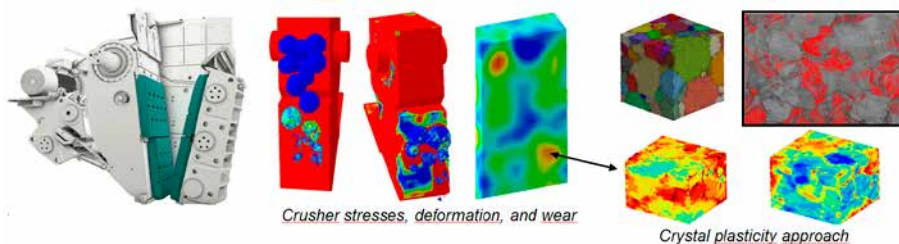
dun keskiarvon, joita yleensä insinööriydessä hyödynnetään. Tästä seuraa se, että muutettaessa hieman materiaalin mikrorakennetta, esimerkiksi vaikuttamalla eri faasien osuuteen, on hyvin vaikea todeta muutoksen vaikutuksista makroskooppiseen käyttäytymiseen ilman mikrorakennetason syventävää tarkastelua. Tulosten luotettavuuden kannalta vastaavasti materiaalikarakterisoinnin merkitys korostuu sekä vallitsevien muodonmuutos- ja vaurioitumisilmiöiden tunnistamisessa että materiaaliominaisuuksien määrittelyssä, sekä tietokonemallien verifiointin osana. Materiaalimallin tarkkuus riippuu sen riittävästä yksityiskohtaisuudesta ja mahdollisuudesta verifioida monimutkaisetkin ilmiöt.

Saavutettava hyöty pohjautuu siihen, että syy-seurausyhteys saadaan kehitettyä yhdistämällä ja analysoimalla karkean ja hienon tason mallien tuottamat tulokset ja uuden materiaaliratkaisun räätälöinti yleiseen tai spesifiseen käyttökohteeseen on mahdollista.

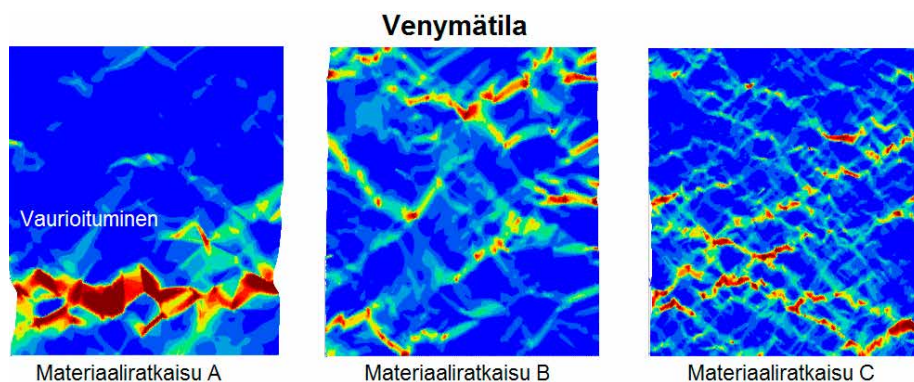
Entä jos kuormitusolosuhteet tai käyttöympäristö muuttuu radikaalisti? Uusia käyttökohteita voidaan tutkia ilman kallista testaamista ja jopa mahdottomalta tuntuvia kuormitusskenaarioita voidaan tarkastella. Suoritettavat kokeet voidaan kohdentaa sekä mallien validoinnin että tarkasteltavien ilmiöiden kannalta paremmin. Välitön konkreettinen hyöty saavutetaan myös applikaatio- ja komponenttitasojen mallien avulla, kun prosessia ja materiaalin roolia siinä ymmärretään kokonaisuutena paremmin.

Tehokkuutta materiaalikehitykseen

Perinteisesti materiaaleja on kehitetty yrityseriehdys -periaatteella. Tilannetta tarkastellaan mekaanisilla testeillä ja erilaisilla la-



Kuva 1. Digitaalisen monitasomallinnuksen hyödyntäminen murskainmateriaalin suunnittelussa (DIMECC BSA-ohjelma).



Kuva 2. Materiaalin digitaalinen optimointi: ratkaisussa A venymä lokalisoituu ja vaurioittaa materiaalin, kun taas ratkaisut B ja C jakauttavat venymää koko rakenteeseen lisäten kuormankantokykyä (DIMECC, BSA), lujuuksien ollessa $A < B < C$.

boratoriotason käyttöolosuhdetta imitoivilla testausmenetelmillä. Erilaisia kokeita täytyy suorittaa mittava määrä ja tulokset ovat yleensä käyttökelpoisia vain tiettyihin kuormitusolosuhteisiin, joita ei kokeita suoritettaessa usein saada tarkasti lainkaan määriteltyä. Usein myös on vaikea todeta vaurioitumisen tarkkaa syytä, koska kokeissa on haastava tarkastella kappaleen jännitys- ja venymätilan sen kuormitushistorian aikana. Monet materiaalikarakterisointimenetelmät tarjoavat analyysin vain ehjässä alkutilan ja vaurioituneessa lopputilassa. Kun ratkaisu ei ole ilmiselvä, seuraavat kokeilukierrokset eivät takaa yhtään parempaa ratkaisua, ja kustannustehokkuus kärsii. Samoin koesuunnittelua ohjaa usein lähinnä tekijän intuitio ja useiden tekijöiden sekä niiden vaikutusten samanaikainen tarkastelu on vähintäänkin haastavaa. Yhdistämällä digitaalisen materiaalisuunnittelun kokeellisiin menetelmiin, voidaan visualisoida ja analysoida materiaalin käyttäytyminen alkutilasta lopputilaan asti. Prosessitason ongelmia voidaan lähestyä myös helpommin simuloimalla. Digitaalisessa suunnittelu-ympäristössä skaalaus esimerkiksi yksittäisistä kontakteista tai kuormitusyhteistä suuriin prosesseihin onnistuu ketterämmin ja kalliilta sekä joskus jopa mahdottomilta kenttätesteiltä voidaan usein välttyä. Laskennallisissa ympäristöissä voidaan tällöin suorittaa suuria määriä virtuaalisia kokeita ongelman ymmärryksen pohjaksi.

Entistä suorituskykyisempien materiaalien kehitys tuottaa erilaisia ja monesti rakenteeltaan erittäin monimutkaisia materiaaleja, joiden käyttöönotto vaatii laajaa ja pitkäaikaista testausta. Pitkän aikavälin simulointiennusteet auttavat turvallisuuden kehittämisessä ja yllättävien hajoamisten välttämiseksi. Digitaalinen materiaalmallinnus eri kuormituskenaarioissa tarjoaa työkalut näiden tilanteiden ennalta havaitsemiseen.

Esimerkiksi kuvassa 2. erilaisten mikrorakenteiden venymän lokalisoitumista ja vaurioitumista on tarkasteltu samassa kuormitusolosuhteessa. Ydinvoimaloissa materiaalien pitää säilyttää ominaisuutensa ovat vaativis-

sa erittäin olosuhteissa. Silloissa, isoissa rakenteissa ja vaikkapa koneenosissa materiaali ei saa menettää liiallisesti kuormankantokykyään suunnitellun eliniän sisällä, esimerkiksi silloin, kun uusi materiaaliratkaisu ei käyttäydykään perinteisten suunnitteluolettamien mukaisesti. Vastaavasti jos materiaalin valmistuksessa tai jälkikäsiteltyssä on tapahtunut virhe, tai elinkaaren aikana kuormitustilanne onkin osoittautunut suunnitellusta poikkeavaksi, mikä on sen vaikutus materiaalin elinikään käyttökohteessa? Nämä ovat kaikki kysymyksiä joihin digitaalisella materiaalmallinnuksella voidaan hakea vastauksia.

Kohti parempaa materiaalin suorituskykyä

Materiaalin suorituskykyyn vaikuttaa suoraan sen mikrorakenne sekä vallitsevat mekaaniset ja kemialliset ilmiöt. Käytännössä hyvä materiaaliratkaisu harvoin on suorituskyvyllään paras materiaali, koska tällöin päädytään kautta linjan kalliisiin ratkaisuihin. Digitaalisen materiaalisuunnittelun mukanaan tuoma tarkkuus ja materiaalin käyttäytymisen parempi ymmärtäminen mahdollistaa monitavoitteen optimoinnin ja laajemman suunnitteluavaruuden hyödyntämisen. Tällöin tapauskohtaisesti voidaan tarkastella erilaisia materiaaliratkaisun suorituskyvyn

indikaattoreita (väsyminen, lujuus, hinta, valmistettavuus...) ja keskittyä tuotteen kannalta merkityksellisimpiin. Seurauksena on materiaaliratkaisun suorituskyvyn parantuminen ja mahdollisuus tarkastella sen kustannustehokkuutta.

Esimerkkinä on kuvassa 3. alla tapaus, jossa kulumista kestävä materiaaliratkaisun mikrorakenneoptimoinnilla on kulumiskestävyyttä parannettu merkittävästi ja materiaaliratkaisusta on samanaikaisesti keskittymällä ainoastaan tuotteen käyttöolosuhteiden kannalta merkityksellisiin ominaisuuksiin saatu merkittävästi kustannustehokkaampi hinnanmuodostuksen kannalta kriittistä raaka-ainetta vähentämällä.

Digitaalinen materiaalisuunnittelu mahdollistaa tällöin optimoinnin ja systemaattisen suunnittelun ulottamisen materiaaliin, aina materiaalikehitykseen ja tuotekohtaiseen valintaan, asti. Materiaaliratkaisun suunnittelu kytketään tällöin osaksi tuotteen muuta suunnittelua, kuten perinteisesti rakenteen ja valmistuksen suunnittelua. Tällöin tuotteen näkökulmasta materiaali tulee osaksi suunnittelijan ja valmistajan käytettävissä olevia suunnittelumuuttujia, mikä integroituu muuhun suunnitteluketjuun. Materiaalissa olevat "vapausasteet" kyetään linkittämään muihin suunnitteluvaiheisiin ja vaatimuksiin, jolloin kokonaisvaltaisella suunnittelulla saavutetaan parempia tuloksia. Voidaan sanoa, että digitaalisen materiaalisuunnittelun päätavoite on tuottaa tuotekohtaisia ja optimoituja materiaaleja ja materiaaliratkaisuja.

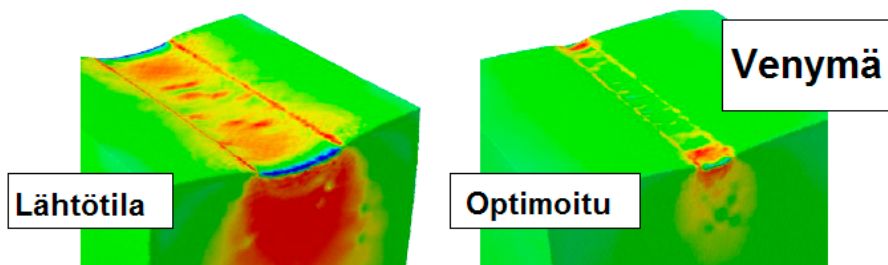
Lisätietoja

<http://www.vttresearch.com/propertune>

Suhonen, T., Laukkanen, A., Andersson, T., Pinomaa, T., Holmberg, K. "ProperTune – Computational Multiscale Materials Modeling Concept", Thermal Spray Bulletin, 68 (2), 2016: 102-106.

Laukkanen, A., Andersson, T., Pinomaa, T., Holmberg, K. "Effective interface model for design and tailoring of WC-Co microstructures", Journal of Powder Metallurgy, 59, 2016: 20-30.

Matti Lindroos, Anssi Laukkanen, Tom Andersson ja Kenneth Holmberg VTT Oy



Kuva 3. Kovametallin monifaasirakenteen optimointi abrasivisessa kulumistilanteessa: kulumiskestävyysparannus on 3-7 kertaluokkaa ja kalliin raaka-aineen tarve on vähentynyt aina 60 % asti. (Laukkanen A., NordTrib 2016).

Ponssen hitsattujen rakenteiden kustannustehokas suunnittelu, hankinta ja valmistus

– Ponsse ponnistaa korkealle –

Jaakko Kekkonen ja Ismo Ruohomäki



Ponsse Oyj on maailman johtavia metsäkonevalmistajia ja Suomessa iso hankkija. Tuotteiden, tuotannon ja palveluiden kehittämisen ohella on panostettu voimakkaasti toimittajaverkoston kanssa tehtävään yhteistyöhön sekä hankinta- ja logistiikkaprosessien kehittämiseen.

Dimeccin MANU-ohjelmassa toteutetun Accelerate-kehitysprojektin tavoitteena oli muodostaa Ponssen uustuotteiden ympärille kehitysympäristö, jonka oli määrä tuottaa markkinoille uusia metsäkoneita mahdollisimman nopeasti ja ennen kaikkea kannattavasti. Toisin sanoen erilaisten kehitystoimien yhteisenä maalina oli mahdollisimman lyhyt "time to profit" -aika. Maaliin pääsy edellytti päämäärätietoista oikeiden asioiden tekemistä aikaisessa vaiheessa ja sarjavalmistuksen operatiivisen tehokkuuden nostamista uudelle tasolle.

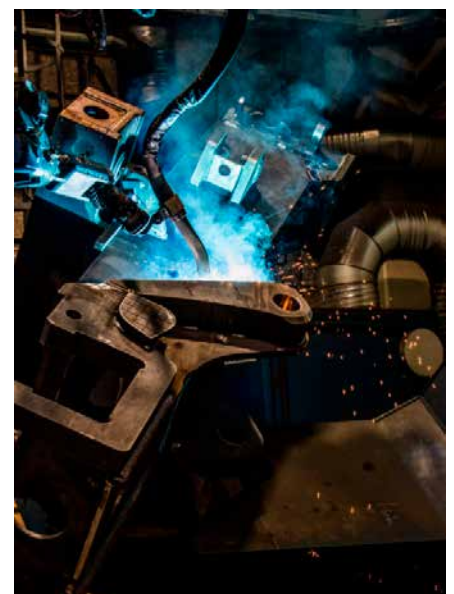
Hitsattujen rakenteiden osalta Accelerate-kehitystyö toteutettiin tiiviissä yhteistyössä Ponssen hitsattujen rakenteiden ja komponenttien avaintoimittajien - HT Laser Oy, Lei-

noCast Oy ja Stera Technologies Oy - kanssa. Tutkimuslaitoksista mukana oli Tampereen Teknillinen Yliopisto ja VTT.

Lyhyt "time to profit" -tavoite edellyttää tuoteprojektien painopisteen siirtämistä paljon lähemmäksi tuotekehitysprosessin alkupäätä. Se vaatii myös huomattavan tarkkaa ja kattavaa suunniteltavan tuotteen vaatimusten ymmärrystä, sillä esimerkiksi hitsattujen rakenteiden suunnitteluratkaisut vaikuttavat suuresti koko tuotteen elinkaaren aikaisten kustannusten kertymiseen. Tehdyt suunnitteluratkaisut dokumentoidaan, jotta myöhemmät tuotteistusprosessin vaiheet voivat hyödyntää suunnittelun tekemää materiaalia esim. markkinoinnissa.

Hitsattujen rakenteiden ympärille muodos-

tettiin toimintatavat toimittajien kyvykkyyden, vaatimusten ja erityispiirteiden ottamiseen jo varhaiseen huomioon. Toimittajien osallistumiselle muodostettiin selkeä ja vastuutettu tuoteprosessi, jossa pyritään heti alusta käynnistyvällä yhteistyöllä mahdollisimman vähäisiin iterointikiertoosiin. Tuotteen vaatimuksista ja valmistuspaikasta riippuen yhteistyötä systematisoitiin rinnakkaisuunnittelun keinoin sekä toimittajan että oman hitsaavan tuotannon kanssa. Yhteistyö on konkreettisimmillaan yhdessä järjestettyjä suunnittelukatselmoituksia, joiden tuloksena muutetaan tarvittavat kohteet ennen kuin ensimmäistäkään fyysistä nimikettä on tilattu. Acceleraten aikana päästiin katselmoitien oppimiskäyrällä seuraavalle tasolle, eli aikaisemmissa katselmoituksissa esille tulleet toimittajien toiveet pystyttiin suunnittelemaan



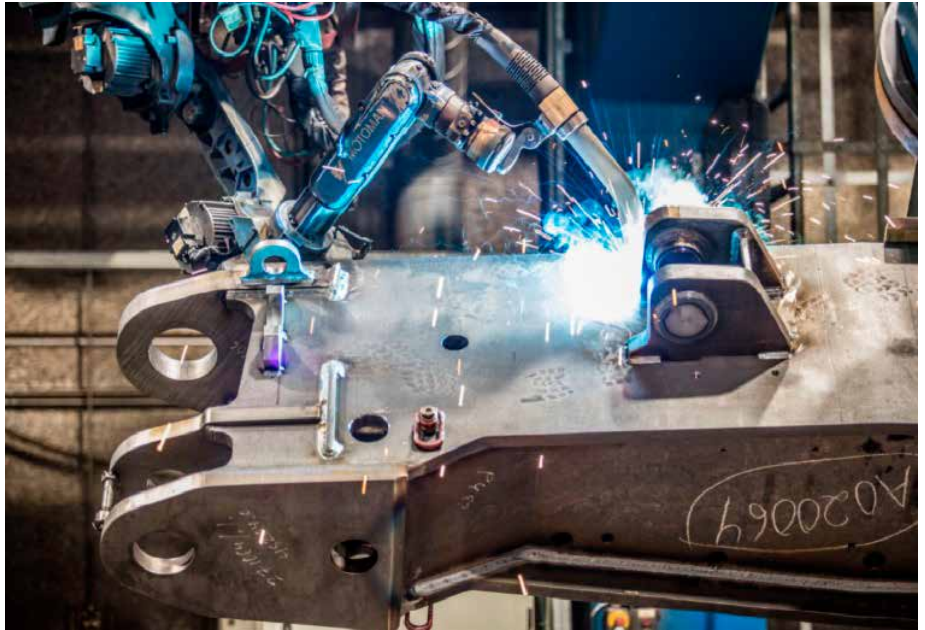
Ponssella on käytössä tehokas tandem-MAG-hitsauslaitteisto harvesteritakarunkojen hitsauksessa. Tandemhitsaus on tuplasti tavanomaista manipulorobottihitsausa tuottavampaa.

suoraan seuraavissa tuoteprojekteissa tuotteen sisäiseksi ominaisuudeksi. Monimutkaisten hyväksyntäprosessien sijaan tehokkaimmaksi tavaksi todettiin tiedon jakaminen läpinäkyvästi. Katselmoinneissa käsitellään tuotantjärjestelmään tai tuotteeseen kohdistuvia muutostarpeita kustannusten sekä tuotantovalmiuksien rakentamista silmällä pitäen oikea-aikaisesti.

Nimikkeistön ja tuoterakenteen merkitys on hitsattujen rakenteiden kohdalla yhtä tärkeää kuin esim. kokoonpanon osalta. Jotta hitsattujen rakenteiden hallinta on tehokasta suunnitteluketjun alusta sarjavalmistukseen asti, tarvitaan ennalta määriteltyä tuoterakenne- ja nimikesystematiikkaa. Hitsattujen koontien käsittelyssä on muistettava, että viime kädessä hitsattukin rakenne pilkkoutuu viimeistään toimittajaverkostossa yksittäisen nimikkeen tasolle, vaikka päämiehen silmissä se ostettaisiinkin isompina osakokonaisuuksina. Accelerate-projektissa tehtiin iso harppaus tuoterakenteiden, nimikkeistön ja niihin liittyvien toimintojen tehokasta toteutusta varten. Acceleraten kokemusten mukaan tehokkaimpaan järjestelmään päästään yhdellä nimikkeistöllä ja tuoterakenteella, josta eri osapuolet suodattavat itselleen tarvitsemansa tiedon. Nimikkeiden avaaminen tuotekehityksen alkuvaiheessa mahdollistaa hiljaisen tiedon kääntämisen järjestelmä tiedoksi ja nimikkeeseen liittyvää tietoa voidaan rikastaa kaikissa eri uustuoteprosessin vaiheissa.

Acceleratessa lisättiin suunnittelun kustannustietoisuutta ja tuettiin kustannustehokkaisuuteen ratkaisuihin pääsyä ottamalla käyttöön suunnitteluvaiheen nimikkekustannusten arviointi. Arvioinnissa pureudutaan tuotteen kustannusrakenteeseen ja opitaan vaikuttamaan kustannuksiin. Esimerkiksi hitsattujen koontien kustannusten arviointi kokonaisina on epätarkkaa. Tarkempaan lopputulokseen päästään arvioimalla jokainen nimike. Jotta kustannustietoisuutta voidaan edelleen kehittää pitää suunnittelijalla olla läpinäkyvyys arvioitujen ja toteutuneiden kustannuksen välillä.

Suunnittelun jälkeen uuden tuotteen tehokas tuotteistusvaihe vaatii informaatiokanavan, jolla operatiivinen tieto voidaan jakaa alihankintaverkostolle. Tähän tarkoitukseen kehitettiin Ponssen extranettiin useita uusia toimintoja. Kehityksen myötä extranetin rooli nousi keskitetyksi tiedonvälityskanavaksi toimittajan ja Ponssen välillä. Extranettiin ohjattiin operatiivisten hankintojen lisäksi muu yhteistyöhön, tuotekehitykseen, laatuun, valmistettavuuden parantamiseen ja jälkimarkkinointiin liittyvä tieto. Extranetin käyttö



Tandem-MAG-hitsausta.

laajeni monen osapuolen ja organisaation keskitetyksi tiedonjako- ja yhteistyökanavaksi. Extranetin kautta kaikki verkostossa mukana olevat toimittajat saavat saman sisältöistä tietoa yhtä aikaa, jolloin tietokatkokset ja vääринymmärrykset vähenevät. Toimittajat ovat kokeneet tiedon saatavuuden, läpinäkyvyyden ja luotettavuuden parantuneen, ja vastaavasti hankintatoimittajilta tulevien lisäkysymysten vähentyneen, luotettavuuden parantuneen ja samalla Ponssen hankintaorganisaatioon tulevat lisätietopyynnöt vähentyneet. Acceleratessa huomattiin, että kaikki tuotteistuksen aikana tehdyt toimet kannattaa tehdä heti ensimmäisestä protosta alkaen samalla tavalla kuin ne tullaan tekemään sarjatuotantovaiheessa. Näin jo ensimmäinen proto nostaa tuotantovalmiuksia.

Extranetin suurimmat edut saadaan tuoterakenteen perusteella tehtävissä pitkälle automatisoiduissa tilauksissa. Esimerkiksi Ponssen hitsaamon levyosatilaukset hoidetaan automaattisesti extranetin välityksellä. Toimintamalli lyhentää tilausten läpimenoaikoja huomattavasti, vähentää manuaalista työtä tilausten käsittelystä sekä pienentää puskuroitavan materiaalin määrää. Suurissa volyymeissä hyödyt kumuloiduvat lisäen operatiivisen toiminnan tehokkuutta ja nopeampana tuotemuutosten läpimenoa.

Acceleraten **päätaavoite** oli tiedon yhdenmukaistaminen ja kehitystoimien pitäminen riittävän konkreettisella tasolla. Kehityksessä hyödynnettiin eri tavoin digitaalisuuden tuo-

mia mahdollisuuksia. Kokemusten mukaan digitaalisuus voi mahdollistaa paljon asioita. Lisäämällä tiedonsiirron digitalisointia organisaatioiden sisällä ja organisaatioiden välillä voidaan nykyisten järjestelmien suorituskykyä tehostaa merkittävästi. Digitaalisuuden hyödyt realisoituvat työsuoritusten, prosessivaiheiden ja tukitoimintojen tehostamisen ja paremman virtauksen myötä koko organisaatiossa. Digitaalisuudesta ei pidä tehdä itsetarkoitusta, vaan se tulisi nähdä polttoaineena ja uudistumisen lähteenä yrityksen liiketoiminnan kannalta tärkeissä prosesseissa. Kaikkia toimintoja pitää kehittää jatkuvasti eteenpäin ja hyödyntää uusien teknologioiden tuomia etuja. Tämä konkretisoituu hitsatuissa rakenteissa esimerkiksi robotisointiasteen kasvattamisena. Myös yrityksen eri tietojärjestelmien mahdollisuuksia pitää jatkuvasti haastaa. Esimerkiksi tulevaisuuden suunnittelussa on tavoitteena soveltuvin osin piirustukseton nimikkeistö, jolloin yksittäisen nimikkeen kaikki tieto saataisiin upotettua nimikkeen 3D-malliin. Kaikkien osapuolten kanssa yhdessä tehtävä jatkuva kehitys varmistaa tulevaisuuden suomalaisen valmistuksen!

Jaakko Kekkonen
Ponsse Oyj, projektipäällikkö
ja
Ismo Ruuhomäki
VTT, erikoistutkija

Sähköinen MANU loppuraportti:

http://hightech.dimecc.com/system/attachments/files/000/000/053/original/DIMECC_MANU_Final_report_ebook.pdf?1479473902

Lisäävän valmistuksen mahdollisuudet

Veli Kujanpää ja Antti Salminen

Lisäävä valmistus eli 3D-tulostus on periaatteessa pinoitushitsausta. Materiaalia lisätään aiemmin rakennetun päälle sulahitsaamalla. Tärkeimmät metallisovellukset ovat jauhepetimenetelmä ja suorakerrostus. Se tarjoaa uusia mahdollisuuksia sekä tuotteiden että tuotannon uudistamiselle myös metallituoteteollisuudessa. Tuotesuunnittelu on tärkeässä roolissa, kun lisäävää valmistusta otetaan käyttöön yrityksissä. Rakenteen toteutus ja sen tehokkain mahdollinen liittyminen ympäröivään laite- ja rakennekokonaisuuteen on kilpailukyvyyn kannalta oleellinen asia.



Hitsaustekniikka-lehden numero 1/2016

Hitsaustekniikka-lehdessä on aiemmin ollut joitakin artikkeleita lisäävästä valmistuksesta, mutta 1/2016 oli alan teemalehti ja käsittelee lisäävää valmistusta (3D-tulostusta) varsin kattavasti /1/. Lehdessä oli useita artikkeleja, jotka raportoivat osittain myös DIMECCin MANU-ohjelman tuloksia. Veli Kujanpää (VTT) kirjoittamassa pääkirjoituksessa "Uskallusta tutkimussatsauksiin ja uusiin teknologioihin" käsitellään tuotekehityksen roolia ja 3D-tulostuksen mahdollisuuksien tutkimus ja kehitystoimintaa. Jouko Lassilan ja Jukka Tuomen (Aalto Yliopisto) haastattelussa "Neljännesvuosisata 3D-tulostusta" käydään läpi lisäävän valmistuksen kehitystä nykyiselle tasolle ja sen sovelluksia. Pasi Puukko VTT:ltä puolestaan käsittelee 3D-tulostuksen tulevaisuuden trendejä ja mahdollisuuksia artikkelissaan "Minne menet, metallien 3D-tulostus".

Ville-Pekka Matilainen, Joonas Pekkarinen, Ville Laitinen, Heidi Piili ja Antti Salminen (LUT) käsittelevät 3D-tulostettujen metalliosien hitsaus keskenään ja muihin teräsosiin. Tulokset ovat oikein rohkaisevia ja periaatteessa hitsaus tuntuu onnistuvan hyvin. Petri Laakso, Erin Komi, Pasi Puukko, Petteri Kokkonen, Kimmo Ruusuvoori, Antero Jokinen ja Mikko Savolainen kertoivat suunnittelun toteutuksesta ja mahdollisuuksista artikkelissaan "Suunnittelun avulla enemmän lisäarvoa 3D-tulostukseen – Case venttiililohko", jossa VTT:n tutkijaryhmä uudisti

venttiililohkon yhdessä asiakkaan ja laitevalmistajan kanssa 3D-tulostuksen mahdollisuuksia hyödyntäväksi. Alan edistymisen kannalta koulutuksen rooli tulee nousemaan erityisesti suunnittelun ymmärryksen kautta. Tätä aihetta käsitellään Antti Salmisen ja Heidi Piilin artikkelissa "Lisäävän valmistuksen eli ns. 3D-tulostuksen opetuksesta ja koulutuksesta", jossa käydään läpi toimintaperiaatteita ja pedagogisia perusteita teknologian opetuksessa LUT:n DI-koulutuksessa toteuttaman 3D-tulostuskoulutuksen pohjalta.

3D-tulostuksessa laitetekniikka ja prosessit ovat oleellisessa osassa. Näitä käsiteltiin lehdessä eri tavoin. Joonas Pekkarisen artikkelissa "Directed Energy Deposition (DED) – Suorakerrostus" kerrottiin suurten kappaleiden tulostukseen soveltuvasta prosessiversiosta, joka voidaan periaatteessa liittää hitsausrobottiin. Juha Teräväinen Alphaform RPI Oy:stä kertoi artikkelissaan "Metallien mahdollisuudet 3D-tulostuksessa" mihin teknologiaa voidaan soveltaa. Marko Vossin (Vossi Group Oy) artikkeli "Metallien 3D-tulostaminen mahdollistaa kilpailuedun uuden sukupolven tuotteilla" käsittelee mihin nykyisin tärkeimmällä metallinen 3D-tulostustekniikalla, jauhepetisulatuksella, päästään ja minne ollaan menossa.

Sovellusesimerkkejä

Seuraavassa on esitelty muutamia käytännön 3D-tulostusesimerkkejä, jotka toteutettiin MANU-ohjelman projektissa. Esimerkit

on julkaistu MANU-ohjelman suunnitteluoppaassa /2/.

3D-tulostettu ruiskuvalumuotin keerna (ABB)

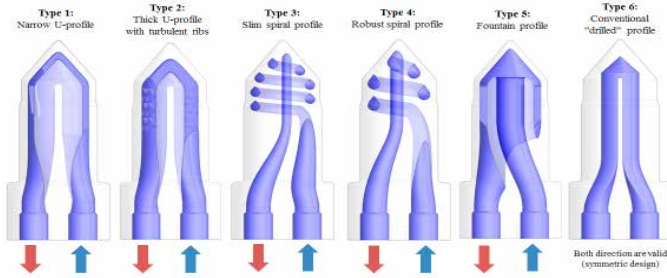
Ruiskuvalumuotin jäähtymisominaisuuksilla on olennainen merkitys sen tuotantotehokkuudessa. Hankkeessa tulostettiin jauhepetisulatuksella teräskeernoja, joissa oli erilaisia jäähdytyskanavia.. Kuvassa 1 on esitetty case-tuotteeksi valittu kartion muotoinen elastomeeritiiviste.

Käytetyt jäähdytyskanavavaihtoehdot ovat kuvassa 2. Äärimmäisenä oikealla oleva kuva esittää perinteisellä menetelmällä valmistettua suunnitteluvaihtoehtoa, joka tulostettiin myös lisäävällä valmistuksella vertailun vuoksi.

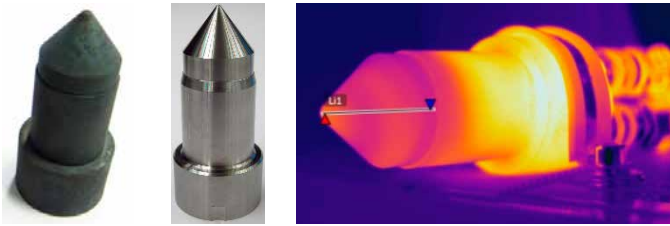
3D-tulostuksen jälkeen tehtiin tarpeelliset lämpökäsittelyt (jännityksenpoistohehkus, karkaisu ja päästö) ja loppukoneistus. Kuvassa 3 on esitetty keerna ennen ja jälkeen koneistuksen.



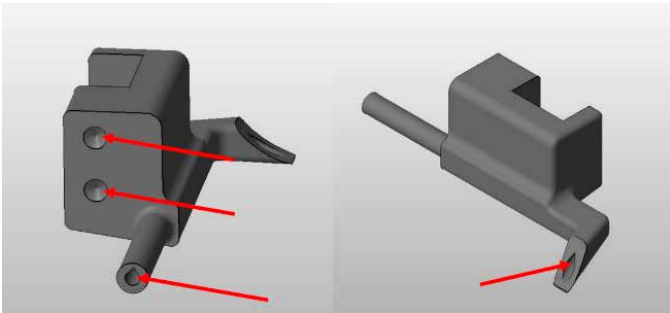
Kuva 1. Elastomeeritiiviste, joka valmistettiin 3D-tulostetun keernan avulla.



Kuva 2. 3D-tulostettuja keernavaihtoehtoja, oikealla perinteisellä menetelmällä valmistettu.

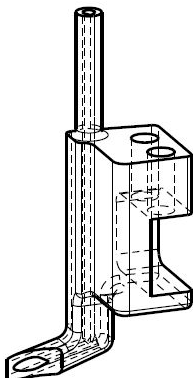


Kuva 3. Keerna ennen ja jälkeen koneistuksen. Lämpökamerakuva- us prosessin aikana.



Kuva 5. Liimasuuttimeen tehdyt muutokset (merkitty nuoliilla) tulos- tusta varten.

Keernojen prosessilämpötiloja testattiin infrapanakuvauksen avulla ABB:llä. Kuvassa 3 on esitetty lämpökuvauk- keen aikana. Se osoittaa, että keernan kärki jäähtyy tehokkaasti sisäisten kanavien ansiosta. Nopeamman jäähtymisen ansiosta prosessia pystytään säätämään tarkemmin ja tahti- aika lyheni yli 75 %. Yleisesti ottaen 3D-tulostuk-



Kuva 4. Alkuperäisen liimasuuttimeen kaaviokuva.

sen havaittiin soveltuvan hyvin työkaluvalmi- stukseen, erityisesti sovelluksissa, joissa optimiratkaisussa tarvitaan monimutkaisia sisäisiä kanavia. Massatuotannossa tämä merkitsee merkittävää kustannussäästöä.

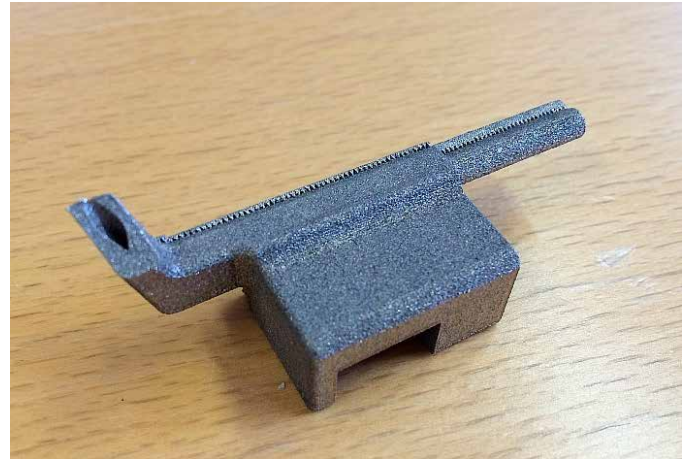
Liimasuutin (Raute)

Liimasuutinta käytetään viilunsaumaajassa levittämään liimaa. Liimasuutin oli sellai- senaan melko valmis tulostettavaksi. Muu- toksia tehtiin ainoastaan putken sisäosan muotoon, sekä porattaviin kiinnitysreikiin. Kuvassa 4 on liimasuuttimeen kaaviokuva.

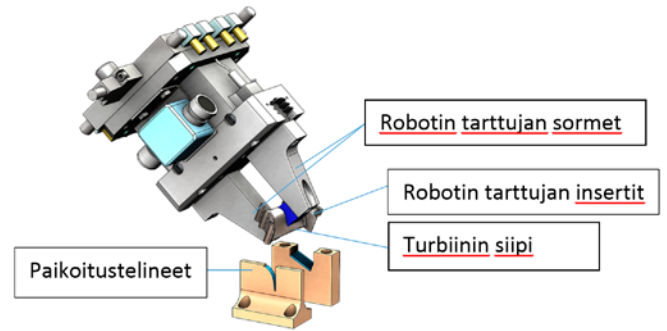
Liimasuuttimeen läpi kulkevan putken si- säosaa muotoiltiin helpommin jauhepesisala- tuksella valmistettavaan muotoon, eli putken sisämuodosta tehtiin pisaramainen. Lisäksi kiinnitysreivät laitettiin umpeen ja niiden pai- kalle tehtiin upotukset, jotka porattiin tulos- tuksen jälkeen auki. Kuvassa 5 nähdään al- kuperäiseen malliin tehdyt muutokset.

Tulostamista varten liimasuuttimelle tehtiin tukirakenteet DeskArtes Oy:n 3DataEx- pert – ohjelmalla. Kuvassa 6 on tulostettu liimasuutin.

Liimasuuttimeen valmistus onnistui ongel- mitta. Pienien muutosten avulla tuote saatiin



Kuva 6. Tulostettu liimasuutin.



Kuva 7. Robotin tarraimet, insertit, paikoitustelineet ja turbiinin siipi.

valmistettua helposti. Tulostuksen jälkeen tukirakenteet poistettiin koneistamalla ja kiinnitysreivät avattiin poraamalla.

Tulostettu suutin toimii laitteessa kuten perinteisilläkin valmistusmenetelmillä toteutettu kappale, mutta valmistuskustannukset jäävät murto-osaan alkuperäisistä. Näin ollen kyseisen suuttimeen valmistus tulostamalla on erinomainen vaihtoehto niin kappaleen vapaamman muotoilun kuin kustannuksienkin suhteen.

Robottitarttuja ja turbiinin siipi (Fastems)

Demonstraation tarkoitus oli kuvata lisää- vän valmistuksen automatisointia ja sen sovelluksia. Esimerkiksi tukien poisto on toimenpide, jonka automatisoinnista ei ole kokemuksia. Sovelluskappaleena oli asia- kastarpeeseen perustuva turbiinin siipi. Kos- ka alkuperäinen sovellus oli luottamukselli- nen, käytettiin julkiselta palvelimelta saatua vastaavaa geometriaa.

Materiaalia lisäävällä valmistuksella tehtiin seuraavat komponentit: robotin tarttujan sormet, robotin tarttujainsertit, kappaleen paikoitustelineet ja varsinainen kappale, turbiinin siipi, kuva 7.

Robotin tarttujan sormet tehtiin jauhepetimenetelmällä alumiiniseoksesta AISi12. Turbiinin siipi tehtiin samoin jauhepetimenetelmällä Inconel 625 -nikkeliseoksesta. Sen sisällä on monimutkainen jäähdytyskanava, jonka valmistaminen perinteisillä menetelmillä olisi hyvin hankalaa ja työlästä. Turbiinin siivelle suoritettiin jännitystenpoistohehkuus. Robottitarttujan insertit, joiden tarttumapinta on turbiinisiiven muotoinen, tehtiin lämpöä hyvin kestävästä ULTEM-polymeeristä, samoin kuin paikoitustelineet, joissa on myös turbiinin siiven muotoiset urat. Nämä tehtiin pursotusmenetelmällä.

Demonstraatiota eri vaiheissa kiinnitettiin erityistä huomiota seuraaviin piirteisiin.

- Robotin tarttujen inserttien tulee olla lämpöä kestävä materiaalia, koska turbiinin siipi on valmistuessaan tai lämpökäsittelyn jäljiltä vielä lämmin. Inserttimateriaalin tulee omata riittävä kitkapinta, jotta puristusvoima voidaan minimoida.
- Paikoitustelineen tulee myös olla lämpöä kestävä materiaalia
- Turbiinin siivellä tulee olla riittävä tarkkuus myös lämpökäsittelyn jälkeen ja optimoitu pinnan karheus, jotta jälkityöstö voidaan minimoida

Kuvassa 8 on esitetty tulostetut kappaleet. Robottitoimintaa demonstroitettiin todellisella robotilla, jolloin todettiin, että 3D-tulostettuja osia, robottitarttujia, tarttujen inserttejä ja



Kuva 8. Tulostetut paikoitusteline ja tarttujan insertit, robottitarttujat ja turbiinin siipi.

paikoitustelineitä voidaan käyttää robotissa. Demonstraatiosta tehtiin video, jota on näytetty useissa tilanteissa Fastems Oy Ab:n ja VTT:n toimesta.

Hydrauliilohko (Metso)

Alkuperäinen hydrauliilohko oli, kuva 9, suunniteltu valmistettavaksi koneistamalla, mikä takia tuotteessa oli mm. apureikiä joiden avulla saatiin luotua varsinaiset virtauskanavat. 3D-tulostusta varten kappale suunniteltiin kokonaan uudelleen tavoitteena vähentää painoa sekä parantaa toimivuutta tehostuneen virtauksen avulla

Tuotteen suunnittelussa oli haastavaa sen monimutkaisuus. Hydrauliikkalohkoon liitetään useita komponentteja, joille tulee koneistaa pesät, mikä luo rajoitteita mallin suunnitteluun. Tuote suunniteltiin kaavion perusteella sekä hyödyntäen komponenttivalmistajien tarjoamia mittoja pesien koneistusta varten. Suunnittelussa suurimmat hankaluudet liittyivät venttiilipesien sijoitukseen sekä pisananmuotoisten putkien 3D-käyrien mallintamiseen. Putkien minimihalkaisijaksi oli annettu 8 mm. Näin ollen putkista ja kanavista piti suunnitella pisananmuotoiset, sillä jauhepetisulatuksessa halkaisijaltaan yli 7 mm:n putkien tai kanavien teko ei onnistu kohtisuorassa valmistussuuntaan nähden. Sekä alkuperäinen että lopullinen design on esitetty kuvassa 10. Samassa kuvassa näkyy myös uuden suunnittelun tuoma painonsäästö. Painonsäästö on arvioitu suunnitteluohjelman sisäisellä työkalulla arvioimalla uuden tuotteen paino ja vertaamalla sitä vanhaan tuotteeseen.

Lohkossa on x-mallisia poikittaistukia varmistamassa, että tuote kestävä tulostuksen jälkeen tehtävän pesien koneistuksen aiheuttamat voimat Tulostettua lohkoa ei ole vielä testattu tämän julkaisun painoon mennessä.

Kupari-induktori (Katsa)

Hammaspöyrien karkaisussa käytetty kuparinen induktori on varsin hankala valmistaa sen monimutkaisen muodon takia. Tänä päivänä se tehdään yleensä käsityönä muotoi-

lemalla kupariputkesta ja juottamalla osat yhteen. Demonstraatiota tarkoituksena oli selvittää, onko 3D-tulostamalla mahdollista ja järkevää valmistaa induktori ja miten se toimii käytännön karkausovelluksessa.

Kuparin tulostaminen on haastavaa sen vaatiman suuren tehon ja tehotiheyden takia. Suomessa ei ole vielä siihen sopivaa laitteistoa. Kuvassa 11 on 3D-malli induktorista. Siinä on hammaspöyran hammasta myötäilevä kohtio ja sisällä kulkee jäähdytyskanava. Kupari-induktori tulostettiin Fraunhofer ILT:llä Saksassa. Materiaali oli CuCrZr-kupariseos, jonka koostumus oli seuraava:

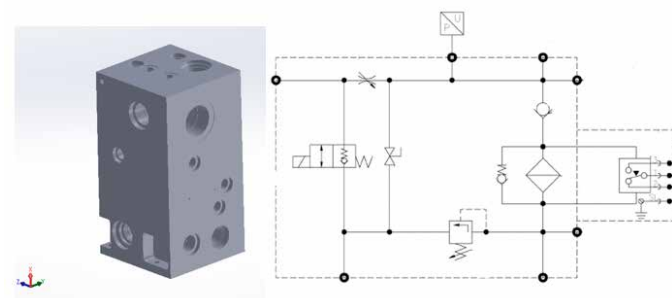
Cr	Zr	Fe
0,5 – 1,2	0,03 – 0,3	max. 0,08
Si	Misc.	Cu
max. 0,1	max. 0,2	balance

Tulostuksessa käytettiin n. 1 kW:n tehoa ja tutkimusolosuhteissa kehitettyä scanning-tekniikkaa. Tulostetulle kappaleelle suoritettiin jälkilämpökäsittely 950 °C:ssa 15 minuuttia ja sen jälkeen vesijäähdytys. Kuvassa 12 on valmis induktori tulostuksen jälkeen.

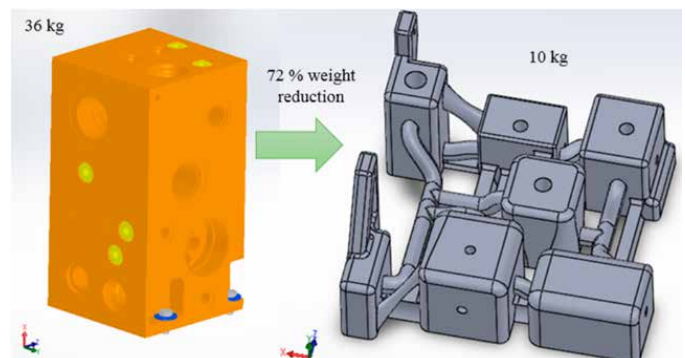
Suunnitteluopas

DIMECCin MANU-ohjelman projektissa tehtiin ”3D-tulostuksen suunnittelu- ja päätöksentekopas yrityksille” /2/. Oppaan tarkoitus on 3D-tulostuksen mahdollisuuksien konkretisoiminen suomalaisen teollisuuden tarpeita vasten. Opas on muodostunut MANU-ohjelman tuloksena ja se tarjoaa käytännön läheisen käsikirjan 3D-tulostuksen hyödyntämiseksi teollisuudessa, kohderyhmä on aina vasta-alkajista kokeneisiin 3D-ammattilaisiin.

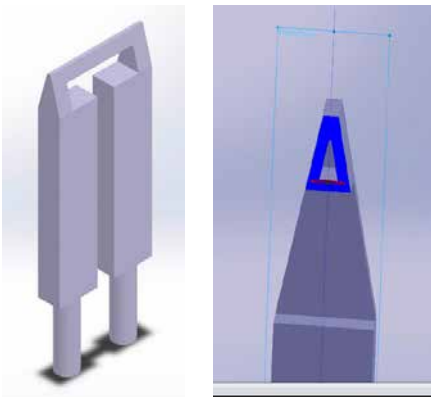
Suunnitteluoppaassa esitellään 3D-tulostuksen eri teknologiat, laittamalla erityinen huomio metallin tulostukseen, eri sovellusalueet (prototyypit, työvälineet, lopputuotteet), materiaalivaihtoehdot ja jälkityöstövaatimukset. Lisäksi oppaassa esitellään palveluntarjoajat ja tutkimusosapuolet eten-



Kuva 9. Alkuperäisen hydrauliikkalohkon Solid Works -malli.



Kuva 10. Uusi ja vanha hydrauliilohko.



Kuva 11. Kupari-induktorin kaaviokuva. Pituus on 80 mm.



Kuva 12. Tulostettu kupari-induktori.

kin kotimaassa. Tuotesuunnittelun mahdollisuuksia ja eroavaisuuksia perinteiseen suunnitteluun esitellään ja konkretisoidaan esimerkkikappaleilla.

Kirjallisuusviitteet

/1/. Hitsaustekniikka-lehti No 1, 2016, Suomen Hitsausteknillinen yhdistys.

/2/. Sergei Chekurov, Pentti Eklund, Veli Kujanpää, Joonas Pekkarinen, Kai Syrjälä, Jorma Vihinen, 3D-tulostuksen suunnittelu- ja päätöksenteko-opas yrityksille, Teknova, 2017 (painossa).

Veli Kujanpää

prof., Teknologian Tutkimuskeskus VTT Oy

Antti Salminen

prof., Lappeenrannan teknillinen yliopisto

PELOX

Parasta laatua peittaukseen
20 vuotta Suomessa.

Somotec

Laatua jo
vuodesta 1983

Olemme suomalainen hitsauslisäaineiden, panssarilevyjen, peittausaineiden ja -tarvikkeiden sekä juotteiden maahantuontiin, markkinointiin ja myyntiin keskittynyt yritys.

Coroplate® panssarilevyt ja -osat **Pelox**® peittausaineet ja -tarvikkeet
Seletarc® hitsauslisäaineet ja juotteet **Corthal**® ja **Thaloy**® kovahitsaustäytelangat

Somotec Oy | www.somotec.fi Tototie 2, 70420 KUOPIO | Puh. 020 7969 240 | somotec@somotec.fi

Osallistujien kokemuksia IWE-koulutuksesta

Erkki Veijalainen



Lappeenrannan teknillisen yliopiston LUT:n IWE-koulutuksessa on eräs erityispiirre, jota kukaan muu ei pysty tarjoamaan; koulutus on opintopistemitoitettua ja osallistuja pystyy hyödyntämään sen myös LUT:n DI-tutkinrossa.

Ei ole aivan helppoa arvioida hitsauskoordinijakoulutuksen laatua, koska se koostuu niin monesta osatekijästä. Opetustavoista voidaan olla montaa mieltä: etä, lähi, netti, itseopiskelu, luennot, harjoitukset ja seminaariesitykset. Ja missä suhteessa? Yksi haluaa face-to-face opetusta tai toinen haluaa perehtyä asioihin rauhassa yksinään. Opettajien asianhallintaa ja opetustaitoja sekä opetusmateriaalin sisältöä ja laatua voidaan arvioida. Opiskelijapalaute otetaan huomioon koulutuksen sisällön ja toteutus- tapojen suunnittelussa. Koulustilat ja -lait-

teet käydään läpi säännöllisesti auditointien yhteydessä, joten ne ovat varmasti hyvällä tasolla joka koulutusorganisaatiolla. Vuosien varrella on ryhmäytymisen ja verkostoitumisen merkitys painottunut, 50 päivää yhdessä synnyttää opiskelijoiden välisiä verkostoja ja jopa liikesuhteita.

Keskeinen mittari onnistumiselle on se, miten koulutuksen läpikäynyt henkilö pystyy hyödyntämään ja soveltamaan oppimaansa käytännön työssään ja mitä yritys hyötyy koulutuksesta.

Lappeenrannan teknillisen yliopiston

LUT:n IWE-koulutuksessa (International Welding Engineer, Kansainvälinen hitsaus-insinööri) on eräs erityispiirre, jota kukaan muu ei pysty tarjoamaan; koulutus on opintopistemitoitettua ja osallistuja pystyy hyödyntämään sen LUT:n DI-tutkinrossa. Tänä keväänä käynnistyvässä IWE-DI täydennyskoulutus-ohjelman pääsyaatimuksena on LUT:ssa suoritettu IWE-kurssi ja insinöörin tai AMK:n insinöörin perustutkinto. Ohjelman kesto on reilut kaksi vuotta eli huomattavasti perinteistä DI-koulutusta lyhyempi ja sen voi suorittaa suurelta osin etänä.

Viime Hitsaustekniikka-lehden numerossa kyseltiin, miten LUT:n opettajat ovat kokeneet IWE-koulutuksen merkityksen itselleen ja LUT:lle. Annetaanpa IWE tutkinnon suorittaneiden kertoa omista kokemuksistaan. Maria Lammentausta suoritti IWE-tutkinnon muutamaa vuosi sitten ja työskentelee Q-Test Oy:ssä hitsausasiantuntijana. Jussi Martiskin perusti kurssin jälkeen ProWeld Finland Oy:n ja toimii yrittäjänä. Erkki Virkki on Kone-tekniologiakeskus Turku Oy:n toimitusjohtaja ja hänen IWE-kurssi päättyi juuri.

Mikä sai sinut lähtemään kurssille?

Maria: Olen suorittanut aiemmin IWS- ja IWI-tutkinnot, joten oli loogista lähteä myös tälle kurssille. Lisäksi yritys, jossa tuolloin työskentelin tarvitsi IWE-pätevyyden omaavan hitsauskoordinoijan.

Jussi: Silloinen työnantaja antoi mahdollisuuden koulutukseen, joten lähdin ilman muuta. Olin kuullut paljon hyvää ko. kurssista aiemmin valmistuneilta.

Erkki: Itselläni on ollut pidemmän aikaa mielessä syventää tietoja hitsauksesta ja tiesin, että IWE-koulutus antaa tähän hyvät tiedot. Nykyisessä ja aikaisemmissa töissäni, olen joutunut hitsauksen kanssa tekemisiin erilaisten suunnittelu-, valmistus- ja laatuasioiden kannalta. Nyt kun LUT järjesti koulutuksen pääosin Kone-tekniologiakeskus Turku Oy:n tiloissa, tarjoutui mahdollisuus osallistua. Muuten se ei olisi omalta kohdaltani ollut mahdollista. Tietysti tutkintotodistuksen saaminen tuo myös haastetta ja kasvattaa motivaatiota.

Mikä oli koulutuksen parasta antia ja mistä hyödyt eniten?

Maria: Ehdottomasti kurssikaverit! Kursin aikana verkostoituu oman alan ihmisten kanssa ja aina on joku jolta kysyä, jos apua tarvitsee.

Jussi: Näin jälkikäteen ajateltuna asia on aivan selvä; uudet kontaktit ympäri Suomen, aivan ehdottomasti.

Erkki: Eniten hyötyä olen saanut "Materiaalit ja niiden käyttäytyminen hitsauksessa" osiosta ja "Hitsatun rakenteen suunnittelu ja mitoitus" osiosta, hitsauksen laatuasioita. Tavallaan asiat on tiennyt, mutta koulutuksen aikana tuli uudenlaista ymmärrystä. Mukana olleet kurssilaiset ja heidän erilaiset näkemyksensä ja verkottuminen heidän kanssaan.



Kurssilaisia hitsausharjoituksissa.

Kurssi ei ollut kotipaikkakunnallasi: hyödyt ja haitat?

Maria: Asun Parkanossa ja täältä on Lappeenrantaan 4-5 tunnin ajomatka. Ennen kurssin alkua mietin monta kertaa, että kuinka paljon parempi olisi, jos kurssi järjestettäisiin jossain lähempänä. Mutta asia on ihan toisin. Se että opiskelu tapahtuu kaukana kotoa ja omasta, työpaikasta edesauttaa hirveästi opiskelua. Ei tule mieleen lähteä yhtäkkiä poikkeamaan työmaalla tms. vaan pystyy paremmin keskittymään opiskeluun.

Jussi, myös sinä kävit kurssin Lappeenrannassa: Perheellisenä haitta tietenkin lähiviikot pois kotoa, mutta kyllähän sitä lähiviikolla kerkesi taas verkostoitumaan, ja luomaan uusia tuttavuuksia, mikä oli hyvä asia. ...niin ja vähän myös opiskelemaankin iltaisin☺.

Erkki, LUT toi kurssin oli kotipaikkakunnallasi: Hyötynä tietysti, etten olisi muuten voinut osallistua työni luonteen johdosta. Lisäksi kustannuksellisesti halvempi, kun ei tarvitse matkustaa ja majoittua hotelleissa. Haittana, omalla paikkakunnalla on omat kiirensä myös iltaisin. Ehkä olisi tullut luettavaa enemmän, jos kurssi olisi ollut Lappeenrannassa. Tällöin olisi tutustunut muihin kurssilaisiin vielä paremmin.

Miten IWE-koulutusta tulisi kehittää?

Maria: Mielestäni tärkeintä koulutuksissa aina on, että ne vastaavat työelämän tarpeita. Kurssi vastasi omia odotuksiani ja antoi minulle hyvät eväät hitsauskoordinoijan työhön. Tietysti pientä hiomista aina löytyy, mutta Lappeenrannan kurssilla on jo niin pitkä historia, että asiat on hyvin mietittyä.

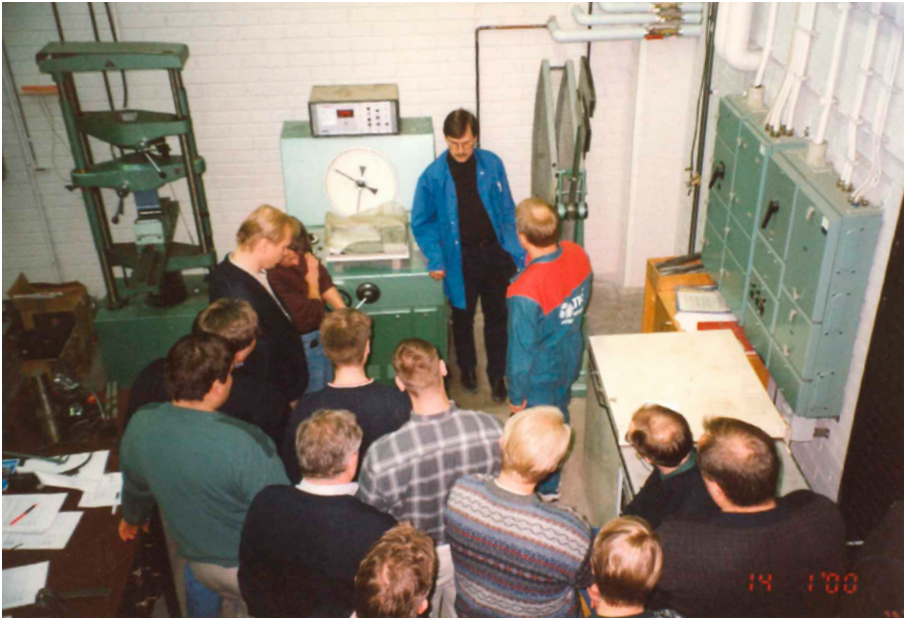
Jussi: Sanotaanko näinpäin. Jotkut taitavat olla sitä mieltä, että etäopiskelun määrää voisi lisätä. Itse olen enemmän perinteisten lähiopetusviikkojen kannalla.

Erkki: Paljon on teoriaa, eikä tieto ole pahasta. Sitä voisi kehittää ottamalla enemmän konkreettisia käytännön tapauksia mukaan, jolloin ymmärrys lisääntyisi ja osaaminen kehittyisi.

Miten koulutus mielestäsi vastaa teollisuuden osaamistarpeisiin?

Maria: Kurssilla on aina ihmisiä, jotka toimivat hyvinkin erilaisissa tehtävissä mutta mielestäni kurssin sisältö on hyvin kattava.

Jussi: Aika laajalla kirjolla tulee aiheita laidasta laitaan. Kurssilla tulee varmasti jokaiselle vastaan asioita, joista ei ole vielä ollekaan tai kovin paljon kokemusta. Moneen asiaan ei loppujen lopuksi perehdytä kovin syvästi, mutta antaa todennäköisesti uu-



Menetelmäkoekappaleet venyvät ja taipuvat.

sia ajatuksia, joita voi hyödyntää omassa työssään.

Erkki: Antaa perustietoa ja ymmärrystä monestakin käytännön asiasta. On valmiimpi etsimään kulloinkin työelämässä tarvittavaa tietoa ja oikeista lähteistä. Teollisuudessa haasteet ovat usein moninaiset ja valmiita ratkaisuja ei ole tarjottava, mutta koulutus ohjaa oikeille "lähteille".

Mikä yllätti?

Maria: Ehkä se työmäärä, mitä kurssin eteen piti tehdä. Tentit eivät ole helppoja, sen olin kyllä kuullutkin, mutta vaati todella töitä, että kurssin sai läpi. Tietysti kyllä se sitten tuntuikin hienolta, kun tiesi ettei tätä lukematta ole läpäisty.

Jussi: Eipä tullut kovin suuria yllätyksiä. Aika monen jo valmistuneen IWE:n kanssa tuli kurssin sisällöstä keskusteltua ennen kurssille menoa, niin oli aika hyvä käsitys jo etukäteen.

Erkki: Valtava aineiston määrä, joka piti omaksua tentteihin. Vastaavasti sai myös hyvää aineistoa käytännön tarpeisiin.

Kurssi on melko kattava, mutta aiheita jäi mielestäsi liian vähälle painoarvolle?

Maria: Itselleni työssä tärkeät asiat tulivat kyllä kattavasti käytyä lävitse, joten en näkisi mitään jääneen liian vähälle painoarvolle.

Jussi: Kyllä jonkin verran olisin kaivannut enemmän Toikan Petrin standardiluentoja, joissa käytiin läpi mm. pätevyys- ja mene-

telmäkokeisiin liittyviä asioita. Vaikka kyllähän asia löytyy standardeista, mutta Petrillä on aika vahva kokemus niiden tulkinnoista ja soveltamisesta, miten asiat käytännössä tehdään/ tulisi tehdä.

Erkki: Tähän kysymykseen ei yleisesti voi vastata. Jokainen kurssilainen kokee asiat oman kokemuksensa ja taustansa kautta. Kurssin ohjelma on laaja, kattaen paljon hitsauksessa huomioitavia asioita. Lisää voisi painottaa hitsauksen lämmön sekä seostuksien vaikutusta materiaalien ominaisuuksiin. Asioita käytiin hyvinkin läpi, mutta jos muutama tunti käytettäisiin lisää aikaa käytännön esimerkkien kautta, ymmärrys kasvaisi.

Suosittelko LUT:n IWE-koulutusta muille ja miksi?

Maria: Ehdottomasti kyllä! Mielestäni tämä on arvostettu, hyvä koulutus.

Jussi: Kyllä voin suositella.

Erkki: Kyllä suosittelen. Varmasti syventää hitsauksen osaamista. Aineisto mikä kurssilla jaetaan, antaa erittäin hyvät tiedot myöhempiä tarpeita varten

LUT:n IWE-kurssin voi hyödyntää osana DI-tutkintoa. Kiinnostaako?

Maria: Kiinnostaa. Itselläni on tosin tässä muitakin koulutuksia menossa, mutta jos aikatauluun sopii ja hinta on kohtuullinen niin mikä ettei :)

Jussi: Tällä hetkellä ei kiinnosta, mutta ei-

hän sitä ikinä tiedä, mitä tulevaisuus tuo tullessaan.

Erkki: Kiinnostus riippuu paljon siitä kuinka paljon, siitä voi hyväksi laskea tutkinnossa, "fifty-sixty"? Lisäksi iso osa koulutuksesta olisi onnistuttava "etänä".

SHY vastaa pätevyyskoulutuksesta Suomessa. Lähetätkö terveisiä koulutuksen kehittämiseksi?

Maria: SHY:n väki kyllä kuuntelee hyvin toiveita ja neuvoa koulutusasioissa. Yritysten toiveiden kuunteleminen onkin tärkeää, jotta tiedetään, minkälaisille koulutuksille on tarvetta. Tärkeää on säilyttää hitsauskoulutusten hyvä taso Suomessa.

Jussi: Hyvää kevään odotusta :)

Erkki: Aikaisemminkin on mainittu, vahvan teoria-aineiston tueksi, käytännönläheisiä esimerkkejä asioiden soveltamisesta. Hyvät esimerkit jäävät hyvin mieleen. Aivan kaikkeen etukäteen jaettuun kurssien PDF-tuntiaineistoon ei päässyt lisäämään omia muistiinpanoja. Paperillekaan ei nykyaikana haluaisi tulostaa. Tätä voisi parantaa.

Seuraava IWE-kurssi käynnistyy Lappeenrannassa 6.3.2017 ja päättyy 15.12.2017. Tervetuloa mukaan koulutukseen, jonka on jo hyväksi havainnut yli 900 IWE:ä ja IWT:tä! Lisätietoja kurssista saa allekirjoittaneelta.



Erkki Veijalainen
DI, IWE kurssinjohtaja
LUT Täydennyskoulutus
erkki.veijalainen@lut.fi

Lasereilla vauhdikkaasti kilpailukykyiseen tulevaisuuteen

– SHY:n Laserfoorumin Lasertyöstöpäivä 24.11.2016 Tampereella –

Juha Lukkari



Tampereen Scandic City -hotellin seminaaritilaan kokoontui yli 30 henkeä kuulemaan esitelmiä lasertyöstöstä, niin hitsauksesta, juottamisesta kuin leikkauksestakin. Paljon esiteltiin erityisesti käytännön esimerkkejä.

Raitiovaunuja emme vielä nähneet viereisellä Hämeenkadulla, mutta sitten myöhemmin vuonna 2021, kun rata on valmis ja Transtech saanut vaunut valmiiksi.

Tampereen valtuusto päätti kokouksessaan 7.11.2016 hyväksyä lopulta selvin numeroin 41-25 raitioliikenteen rakentamisen kaupunkiin. Raitiotien rakentaminen alkaa Tampereella useasta kohdin heti ensi vuonna. Ensimmäiseksi on valmistumassa osuus Hervannasta keskustaan vuonna 2021 ja sen jälkeen toinen osa keskustasta edelleen länteen. Vaunut Tampereelle tilataan Transtechiltä Otanmäestä. Tehdas aikoo tehdä niistä myös vientituotteen. Seuraavana on tähtäimessä Oslon kaupunki. Ratikan nopeus on enimmillään 70 kilometriä tunnissa. Vaunuun mahtuu 240 matkustajaa.

Johdanto laseriin

Laser on lyhenne englanninkielisistä sanoista "Light Amplification by the Stimulated Emission of Radiation" (valon vahvistaminen säteilyn stimuloitulla emissiolla). Laser valo poikkeaa tavallisesta valosta siinä, että se on monokromaattista (tietty aallonpituus) ja koherenttia (sama amplitudi, taajuus ja vaihe). Toisin kuin tavallinen valo, laservalo voidaan edellä mainittujen ominaisuuksiensa johdosta kohdistaa erittäin pieneen pisteeseen. Koko laserlähteen energian kohdistaminen pieneen pisteeseen nostaa pisteen energiatheyden erittäin korkeaksi, mikä

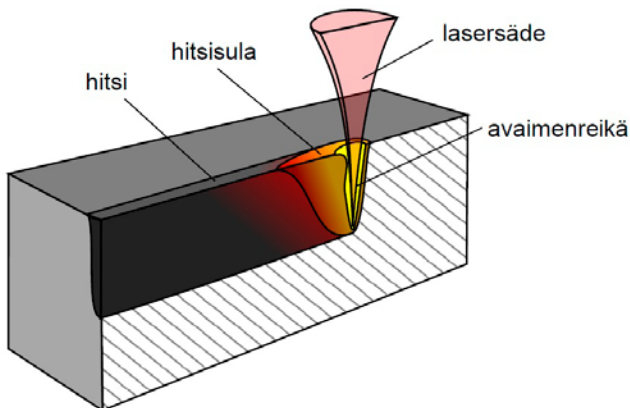
mahdollistaa erilaisten materiaalien työstämisen materiaalin sulaessa tai höyrystyessä lasersäteen vaikutuksesta.

Lasertyöstö on yleistynyt eri teollisuudenaloilla voimakkaasti viimeisten vuosien aikana teknologian kehityksen mukanaan tuomien uusien mahdollisuuksien sekä laseneiden kustannusten ansiosta. Laserista on kehittynyt monipuolinen materiaalityöstön työkalu, ja lasertyöstön sovelluksia löytyykin tänä päivänä teollisuuden kaikilta aloilta. IONIX OY on erikoistunut erityisesti seuraaviin lasertyöstöprosesseihin:

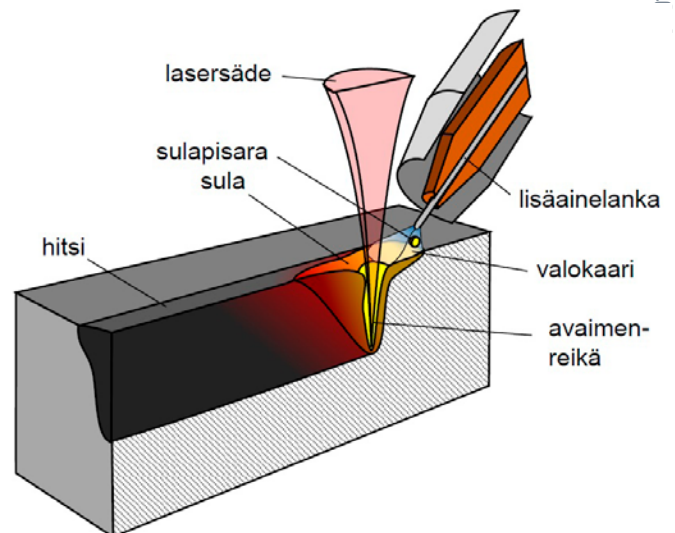
- Laserleikkaus
- Laserhitsaus

- Laserhybridihitsaus
- Laserjuotto
- Laserpinnoitus
- Lasermerkkkaus
- Laserporaus
- Laserpintakarkaisu
- Laserpuhdistus

Laserhitsaus on prosessi, jossa laservalo kohdistetaan pieneen pisteeseen työkalupaleen pinnalla materiaalin sulattamiseksi tai höyrystämiseksi, kuva 1. Laserhitsaus voidaan jakaa kahteen eri prosessiin: *sulattavaan laserhitsaukseen* ja *syvätunkeuma-laserhitsaukseen*. Lasersäteen tehottiheys (kW/mm^2) työkalupaleen pinnalla sekä



Kuva 1. Laserhitsauksen periaate (IONIX OY).



Kuva 2. Laserhybridhitsauksen periaate (IONIX OY).

teho:hitsausnopeus -suhde määrittävät onko kyseessä sulattava laserhitsaus tai syvätkuumahitsaus. Vaadittu tehotiheys avaimenreian synnyttämiseksi teräkseen on noin 10 kW/mm², ja tämän tehotiheyden alapuolella hitsaus on sulattavaa laserhitsausta. Lasersäteen lämmittäessä voimakkaasti metallin pintaa metalliatomien väliset sidokset katkeavat ja metalli höyrystyy. Metallihöyrän absorboidessa laservalon energiaa yhä enemmän atomit ionisoituvat metalliatomien luovuttaessa elektroneja. Tätä ionisoituneiden metalliatomien muodostamaa kaasua kutsutaan *plasmaksi*.

Laserhitsauksen edut:

- Suuri tuottavuus johtuen seuraavista tekijöistä:
 - Suuri hitsausnopeus
 - Kyky hitsata kerralla suuriakin ainepaksuuksia yhdeltä puolelta
 - Mahdollisuus käyttää I-railoa (vähemmän rillonvalmistelua ja lisäainetta)
 - Vähemmän jälkityöstön tarvetta
- Matala lämmöntuonti tuo mukanaan seuraavia etuja:
 - Pienet muodonmuutokset (pienempi tarve oikomisille ja pienemmät koneistusvarat)
 - Usein haitalliset metallurgiset muutokset, kuten rakeenkasvu ja suuri lämpövyöhykkeen leveys, voidaan eliminoida
 - Hitsi voidaan sijoittaa lähelle lämpöherkkiä komponentteja
- Uudet suunnittelumahdollisuudet, johtuen seuraavista tekijöistä:
 - Hitsaus on mahdollista kohteissa, joihin päästään vain toiselta puolelta, tai joissa liitos sijaitsee esimerkiksi kapean raon pohjalla
 - Eri paksuuksia voidaan liittää helposti toisiinsa
 - Eri materiaaleja voidaan liittää toisiinsa
 - Useita kappaleita voidaan liittää toisiinsa limiliitoksella yhdeltä puolelta yhdellä palolla

- Hitsaus voidaan jättää viimeiseksi työvaiheeksi
- Hitsaus voidaan suorittaa kaikissa asennoissa (esim. lakiasento)

Laserhybridhitsaus on liittämisen prosessi, jossa laser ja jokin toinen hitsausmenetelmä, esimerkiksi MAG-hitsaus, yhdistyvät tehokkaaksi hitsausmenetelmäksi. Lasersäde ja sähköinen valokaari ovat hyvin erilaisia hitsauksen lämmönlähteitä, mutta molempien toimiessa suojakaasun suojaamassa ympäristössä normaali-ilmanpaineessa, on näiden kahden prosessin yhdistäminen mahdollista. Näitä laserhybridhitsausprosesseja, erityisesti laser-MAG-hybridihitsausta, on viime vuosina yhä enenevässä määrin otettu käyttöön teollisissa sovelluksissa eri puolilla maailmaa. Laserhybridhitsauksessa on havaittavissa niin laserhitsauksen kuin kaarihitsauksenkin prosessimekanismeja, mutta lisäksi kahden eri prosessin yhdistämisestä aiheutuvat synergiset ilmiöt liittyvät hybridihitsaukseen vahvasti.

Laserhybridhitsaus on laserhitsauksen ja kaarihitsauksen yhdistelmä, jossa lasersäde ja valokaari muodostavat yhteisen hitsisulan. Tästä käytetään usein myös nimitystä laserkaari-hybridihitsaus termin laserhybridihitsaus sijaan. Tiettyissä sovelluksissa lasersäteen ja valokaaren välinen etäisyys on niin suuri, että prosessit itse asiassa muodostavat omat erilliset hitsisulansa. Laserhybridihitsaus ei ole vain yksinkertainen kahden erillisen prosessin summa, vaan prosessiin liittyy useita monimutkaisia fysikaalisia ilmiöitä kahden lämmönlähteen välillä.

Laserhybridhitsauksessa lasersäde suuren tehotiheyden omaavana lämmönlähteenä toimii usein ensisijaisena lämmönlähteenä mahdollista hitsin syvän tunkeuman, kun taas valokaari toimii toissijaisena lämmönlähteenä parantaen prosessin vakautta, luotettavuutta ja tehokkuutta sekä nostaa hitsin laatua. Kaari-prosessina laserhybridihitsauksessa käytetään joko lisäaineellista prosessia tai lisäaineetonta prosessia. Mikäli lisäaineesta on prosessissa hyötyä, valitaan prosessiksi usein laser-MAG-hybridihitsaus. Aina ei lisäaineen käyttö ole kuitenkaan tar-

peen, ja tällöin voidaan lasersäteen rinnalle valita lämmönlähteenä esimerkiksi TIG-prosessi. Riippuen kahden eri lämmönlähteen tehon suhteesta, hybridihitsin ominaispiirteet voivat muistuttaa enemmän joko laserhitsiä tai kaarihitsiä. Lasertehon noustessa hitsin tunkeuma kasvaa, kun taas kaaritehon noustessa hitsin leveys kasvaa. Optimaalinen tehon välinen suhde riippuu kulloisestakin sovelluksesta.

Laserhybridihitsauksen etuja laserhitsauksen verrattuna:

- Lisäaineen avulla hitsin metallurgiaan voidaan vaikuttaa lisäaineen seostuksella. Lisäksi lisäaineentuonnilla voidaan sallia suurempi ilmarako liitettävien kappaleiden väliin.
- Valokaaren tuomalla lisäenergialla voidaan kasvattaa hitsin tunkeumaa ja leveyttä. Usein myös hitsausnopeutta voidaan hieman nostaa.
- Lämmöntuonnin kasvaessa hitsisula pidentyy ja sulalle jää enemmän aikaa tasoittua, ja hybridihitsin pinnoista saadaan usein sileä ja juohevasti perusaineeseen liittyvä.
- Suurempi hitsausenergia mahdollistaa tiettyjen materiaalien hitsauksen, joiden haasteena laserhitsauksessa ovat esimerkiksi kuumahalkeamat tai liian suureksi kohonnut hitsin kovuus.

Laserhybridihitsauksen etuja kaarihitsauksen verrattuna:

- Suuri hitsausnopeus parantaa sovelluksen tehokkuutta.
- Suurempi tunkeuma mahdollistaa hitsauspalkojen määrän ja raitoilavuuden laskemisen. Usein hitsaus voidaan tehdä yhdellä palolla.
- Matala lämmöntuonti ja tämän seurauksena vähäiset lämpöjännitykset ja muodonmuutokset sekä kapea muutosvyöhyke (HAZ).

Lähde (teksti ja kuvat):

- IONIX OY:n verkkosivut
- www.ionix.fi



Kuva 3. Veli Kujanpää (VTT).



Kuva 4. Berthold Kessler (IPG Laser).



Kuva 5. Aki Tuunainen (Savonia AMK).

Seminaari

Seminaaripäivän järjestäjä oli SHY:n Laserforumi ja sen avasi Laserforumin puheenjohtaja professori Veli Kujanpää (VTT) Lappeenrannasta, kuva 3. Hän toimi myös päivän puheenjohtajana.

Esitelmät alkoivat kansainvälisellä tuulahduksella Saksasta, Berthold Kessler (IPG Laser GmbH): Developments in Laser Processing Technology), kuva 4. IPG on yksi maailman suurimpia yrityksiä laser-alalla. Hänen monipuolisen esitelmänsä yhteenveto on seuraavassa.

- IPG sold more than 3000 fiber lasers in laser cutting 2015
- Typical laser power for cutting is increased to 6kW. Cutting with 12kW fiber laser was demonstrated.
- Laser cutting is in competition with plasma cutting
- Improvement of seam quality and appearance by dynamic beam shaping or in reduced atmospheric pressure
- First fiber tube welding installations are realized
- Tri-Focal fiber lasers for better brazing process
- Laser Seam Stepper excellent tool for PHS Welding and zero gap Zinc coated steel welding
- Nano second Laser for high speed processing
- Laser Cleaning is eco-friendly and efficient
- Eco laser with 50% wall plug efficiency
- Cutting and Welding technology ready for high thickness

Aki Tuunainen tuli Kuopiosta Savonia AMK:sta, jossa hän toimii projekti-insinöörinä, kuva 5. Hänen aiheensa oli Käytännön kokemuksia laserhitsauksesta ja testauksesta (ks. myös Hitsaustekniikka-lehti No 5/2015: Savonia-ammattikorkeakoulu testasi alumiinin robotisoitua laserhitsausta).

Savonia on yksi Suomen suurimmista ja monipuolisimmista ammattikorkeakouluista, ja sillä on kampuksia kolmella paikkakunnalla, Kuopiossa, Iisalmissa ja Varkaudessa. Savonia palvelee n. 6200 opiskelijan lisäksi aktiivisesti ympäröivää elinkeinoelämää, mikä mahdollistaa sekä opetuksen että oppimisen työelämäläheisyyden.

Savonia-ammattikorkeakoulun hitsauslaboratoriossa (HitSavonia) on jo vuodesta 2005 alkaen panostettu hitsauksen automatisoinnin soveltavaan tutkimukseen. Ensimmäisillä hitsaus- ja kappaleenkäsittelyroboteilla tutkittiin muun muassa hitsattavan kappaleen kokoonpanoa ilman kiinnittintä. Sovelluksessa käytettiin kappaleenkäsittelyrobottia ja siihen kytkettyjä konenäkökameroita. Case-tutkimuksissa saatiin testihitsauksissa hyviä tuloksia. Joillakin hitsatuilla

tuotteilla kokoonpanoajat putosivat murtoosaan käsihitsauksen kokoonpanoajoista.

Vuonna 2014 HitSavoniassa toteutettiin merkittävä kehitysaskel robotisoidun laserhitsausjärjestelmän myötä, kuva 6. Pääosan investoinnista rahoitti Pohjois-Savon Liitto Euroopan aluekehitysrahaston kautta. Laitteiston ydin on IPG 8 kW kuitulaser, joka on päivitettävissä jopa 16 kW tehoon saakka. Laserlähteessä on neljä kuitulähtöä, jotka on käytetty scantracker-laserhitsauspäälle, hybridihitsauspäälle ja laserleikkauspäälle. Yksi kuitulähtö on varattu mahdolliselle pinnoituspäälle. Robotteina ovat Yaskawan DX100 ohjauksella olevat MH80 hitsausrobotti ja 500 kg käsittelykyvyn omaava UP-350D-500 kappaleenkäsittelyrobotti. Hitsausrobotti on asennettu 8 m pitkään yksiakseliseen gant-ry-rataan ylösalaisin. Solua täydentää yksi-



Kuva 6. Laserhitausolu (HitSavonia).

akselinen käsittelypöytä, johon mahtuu 7 m pitkä halkaisijaltaan 2,6 m kappale. Pöydän maksimikuorma on 3000 kg. Robotit ovat suojahuoneen sisässä, jossa on puoliakseli avautuva katto ja päätyseinä. Tämä mahdollistaa suurten kappaleiden tuomisen so- luun siltanosturilla.

Tuunaisen mukaan laserin plussia ovat:

- Nopea
- Vakaa helposti säädettävä prosessi
- Vähän lämpömuutoksia
- Kohtuullisen paksujen materiaalien hitsaus kerta hitsillä
- Voidaan hitsata myös ei perinteisiä raitoluotoja
- Roiskeettomuus
- Lisäaineeton

Laserin miinusia:

- Kallis laitteisto ja varaosat
- Vaatii koneistetut tai vähintään laserleikatut raitot – aina hyvä raitosovitus (onnistuneita testejä tehty kylläkin myös sahapinnalla)
- Vaatii kiinnittimiltä paremman tarkkuuden
- Suojaustarve (vaatii suojahuoneen)
- Joissakin tapauksissa hitsin kovuuden nousu perusaineeseen verrattuna (lämpökäsittelyn tarve)
- Railonseuranta monesti haastavaa

Yhteenveto:

- Järjestelmän ylösajo vie aikaa – vrt. normaali robotisolu.
- Parametrien testaus on aikaa vievää, mutta sen jälkeen homma sujuu.
- Hieman vieroksuttu prosessi sen näennäisen kalleuden vuoksi.
- Jos sopivia hitsattavia tuotteita on riittävästi, niin laserhitsaus on kilpailukykyinen myös taloudellisesti.
- Mahdollisuuksien prosessi varsinkin, jos hitsattavat tuotteen suunnitellaan laserin vahvuuksia hyödyntäen

Laserteknologia käyttöön otto uusissa tuotteissa oli **Tero Haapakosken** (HT-Laser Oy) esitelmän aiheena, kuva 7. Yritys toimii kymmenellä paikkakunnalla, Keuruulla, Jyväskylässä, Tampereella, Kaarinassa, Vieremällä, Vaasassa, Torniossa sekä Puolassa Varsovassa ja Poznanissa, jotka palvelevat yli tu-



Kuva 7. Tero Haapakoski (HT-Laser Oy).



Kuva 8. Kennon laserhitsausta (HT-Laser Oy).

hatta asiakasta. Lista osoittaa, että Suomen peittää tiheä HT-Laser -verkosto! HT-Laser Oy on lasertyöstön alihankintapalvelujen edelläkävijöitä. Toiminta alkoi jo vuonna 1989. Perheomisteinen HT-Laser Oy kuuluu Teiskonen Oy -konserniin ja vuonna 2014 liikevaihto ylitti 48 M€. Henkilökunnan kokonaisvahvuus on noin 300. Samaan konserniin kuuluvat ohutlevyrakenteita valmistava ja palvelujamme täydentävä Elekmerk Oy ja propulsiolaitteita valmistava Alamarin-Jet Oy.

HT-Laser Oy:n toiminnan lähtökohdanta ovat asiakaskohtaiset kokonaisratkaisut. Päämiehen ja alihankkijan rooli on yhteistyötä, jossa kehitetään itse tuotteen rakennetta, mutta myös kustannustehokasta valmistusta. Tärkeää on nähdä ja löytää yhteinen etu, jota tehdään pitkällä aikajänteellä. Ajan haasteisiin vastataan yhteistyössä asiakkaiden kanssa.

Yhä useammin toimitetaan valmiita osakokoonpanoja suoraan asiakkaiden tuotantolinjoille. HT-Laser Oy:n asiakasyritykset ovat menestyviä metalli-, rakennus-, kaluste- sekä sähkö- ja elektroniikkateollisuuden yrityksiä.

Keuruulla on viisi lasertyöasemaa, joista kaksi on hitsaavaa:

3D-Lasertyöasema Schuler:

- Leikkaus & Hitsaus varustus
 - Trumpf 5kW Co₂-resonaattori
 - Työalue 3000 x 6000 x 800 mm
 - Työkappaleita siirtämällä pidemmät
 - Optinen Laser railonseuranta
 - Avoin rakenne
 - Mahdollistaa suurien osien käsittelyä
 - Projektikohtainen logistiikka
 - Integroitava pyöritys akseli
 - Hankittu 2006 ja modernisoitu 2016
- Työasema soveltuu monen tyypisiin ja monen kokoisiin töihin. Ison työalueen johdosta levykenttä-, palkki- ja kennorakennehitsauksia on toteutettu useita erilaisia. Uudelleen



Kuva 9. Erinomainen kohde laserhitsaukselle (HT-Laser Oy).

paikoituksen avulla pisimmät palkit ovat olleet yli 14 m.

3D-Laserrobotiasema HT FLWS:

- Kuituoptiikkalaserhitsaus varustus
- IPG 5kW -kuitulaserresonaattori
- Työalue n. 2000x1000x500 mm
- Robotti ohjaa laseria
- Hitsausradat mahdollista ohjelmoida 3D-mallin avulla

Robottihitsausasema soveltuu pienille kappaleille ja laserhitsaamisen testaamiseen. Kuitulaserilla on mahdollista hitsata myös alumiinia.

Haapakoski korosti esitelmässään paljon teknologiaa asiakassuhteissa, toimittajan ja asiakkaan yhteistyötä, tuotteiden kustannustehokasta ja valmistusystävällistä suunnittelua. Hän esitteli myös DFMA-toimintaperiaatteita (Design for Manufacturing and Assembly) eli valmistus- ja kokoonpanoystävällinen suunnittelu ja miten sitä voidaan konkreettisesti toteuttaa laserhitsauksen yhteydessä.

Haapakoski tiivistä laserhitsauksen edut:

- Syvä ja kapea hitsi
 - Suuri tunkeuma, muutokset ympäröivään materiaaliin pieniä



Kuva 10. Mika Marttila (Valmet Automotive Oy). ”Robotit eivät vie työpaikkoja, vaan tuovat niitä. kuten uutiset kertovat. Nyt palkkaamme noin 1000 uutta työntekijää. Uudessakaupungissa ei tehtäisi yhtään autoa, jos robotteja ei olisi.”

- Pieni lämmöntuonti kappaleeseen
 - Pienet muodonmuutokset, ei jälkityöstöä
 - Työstö lähelle lämpöherkkiä komponentteja
- Prosessin joustavuus
 - Säde helppo jakaa useaan työasemaan
 - Soveltuu automaattiseksi menetelmäksi
 - Laite kaukanakin työasemasta
- Suuri prosessinopeus
- Hyvä toistettavuus
 - Luotettavia liitoksia
- Tuotesuunnittelun vaihtoehdot lisääntyvät
 - Eri paksuisten materiaalien liittäminen
 - Eri materiaalien liittäminen
 - Eri liitosmuodot
- Runsas hitsattavien materiaalien määrä

Sitten astui estradille **Mika Marttila** (Valmet Automotive Oy), kuva 10. Hänen aiheenaan oli Lasertyöstön esimerkkejä autotehtaalla. Viime aikoina on yritysmaailmasta kuulunut vain harvoja hyviä uutisia (esim. Helsingin Sanomat 16.11.2017). Seuraavat lainaukset ovat suoraan HS:n verkkosivuilta.

”Valmet Automotive palkkaa Uudenkaupungin autotehtaalle yli tuhat uutta työntekijää ja toimihenkilöä. Yhtiön nykyinen työntekijämäärä lähes kaksinkertaistuu. Työntekijätarve johtuu uudesta tuotannosta. Yhtiö alkaa tehdä ensi vuoden alkupuoliskolla Mercedes-Benzin GLC-katumaasturia. Samaan aikaan Valmet Automotive jatkaa myös Mercedes-Benzin A-sarjan tuotantoa ainakin vielä vuoden 2017. Tarkkaa päättymisaikaa ei ole sovittu, mutta yhtiön tuotantovolyymit ovat nyt suurempia kuin koskaan ennen”,



Kuva 11. Mercedes Benz GLC (Veho Oy).

toimitusjohtaja Korhonen sanoo. Rekrytointitoteutetaan usealla kampanjalla. Ensimmäinen kampanja alkaa tänään keskiviikkona. Ensimmäisessä erässä avoinna on 250 työpaikkaa. Yhtiö hakee autonrakentajia ympäri Suomen eri tehtäviin hitsaamoon, maalaukseen ja kokoonpanoon sekä logistiikkaan. Tässä vaiheessa rekrytointihaavi ulotetaan Suomeen, mutta Korhosen mukaan ulkomaista työvoimaa ei voi poissulkea tulevaisuudessa joissakin tehtävissä. Tehtaalla on nyt töissä 1 550 työntekijää ja vajaat 500 tuotantotoimintaa tukevaa alihankkijaa”.

”Rekrytointien päättyessä tehtaalla työkentelee noin 3 000 henkilöä. Se kuuluu suurimpiin valmistavan teollisuuden tuotantolaitoksiin Suomessa. Yhtiö on myös laajentanut tehdastaan kesän aikana noin hehtaarilla. Tilaa on nyt 11 hehtaaria. Ilpo Korhosen mukaan tehdas työskentelee ensi vuoden jälkipuoliskolla kolmessa vuorossa, kun nyt tehdään kahta vuoroa”.

”Valmet Automotive on autojen sopimusvalmistaja. Alun perin tehdas perustettiin 1969 valmistamaan Saab-merkkisiä henkilöautoja, mutta toiminta laajeni myöhemmin sopimusvalmistukseen. Uudenkaupungin autotehtaalla on valmistettu Mercedes-Benzin A-sarjaa vuodesta 2013 lähtien. Sinä aikana tehtaalta on lähtenyt yli satatuhatta A-sarjan autoa. Tehdas ei kerro vuosituotantonsa määrää, ja mallien valmistusmäärätkin ovat lähinnä suuntaa-antavia. Sopimusvalmistajan arkeen kuuluu, että päämies sanelee, millä tarkkuudella asioista voi puhua”.

”Mercedes-Benzin katumaasturi GLC tuli markkinoille noin vuosi sitten. Sitä valmistetaan nyt Saksassa Bremenissä ja ostaja joutuu odottamaan uutta autoaan lähes vuoden. Korhosen mukaan tämä lyhenee jollain aikavälillä, kun tuotanto Uudessakaupungissa pääsee täyteen vauhtiin. Valmet Automotive kertoo GLC-sopimuksen pituudesta ainoastaan sen, että tuotanto jatkuu ”muutamia vuosia”. Korhosen mukaan yhtiön näkyvät ovat seuraavan kahden vuoden ajan hyvin vakaalla pohjalla”.

Hitsaustekniikka-lehti kirjoitti autotehtaasta keväällä numerossa 2/2016 mm. seuraavaa: ”Valmet Automotive teki Suomen suurimman robottikaupan ABB:n kanssa. Yli 250 robottia Mersun katumaasturin tuotantoon.” Yhteensä autotehtaalla on yli 500 robottia. Ensimmäinen suuri kauppa tehtiin muutama vuosi sitten, noin 200 robottia. Mika Marttila kertoi ilmeään olleensa ”pääostajana” molemmissa robottikaupoissa.

Uudenkaupungin autotehdas tekee myös maailman ennätysisiä autoteollisuuden maailmassa. Ensimmäisen Mersun tuotantotilat saatiin ”nollasta” käyttöön 16 kuukaudessa. Nyt uuden mallin uudet rakennetut tilat saadaan käyttöön vielä lyhyemmässä ajassa, 13 kk.

Millä ihmeellä tämä yritys pikkuisesta ja kaukaisesta Suomesta pärjää ja menestyy maailmalla jättiläisten joukossa? Syitä lienee monia, ”tuotannon erinomainen joustavuus, nopea uuden mallin valmistuksen aloittaminen, erittäin korkea ammattitaito koko henkilökunnassa jne.

Nykyinen hitsaamo on täysin muokattu A-sarjan tuotantoon. Lähes 200 robotin myötä automaatioaste on yli 90 %. Tehdasinvestoinnit olivat yli 50 M€. Päälinjat ja pääosakokoonpanolinjat ovat operaattorivapaista. Osien syöttö ja kappaleen käsittely automaatioitu. A-sarjan hitsausprosessi koostuu alustasta, korilinjasta, luukuista ja asennus/viimeistelylinjasta.

Viimeisin uutinen autotehtaasta oli 27.1.2017 Helsingin Sanomissa otsikolla ”Valmet Automotive palkkaa 500 työntekijää.”

Niin, kai sitä piti kertoa jotakin esitelmän aiheestakin eli Lasertyöstöstä autotehtaalla. Lasersovellukset ovat auton ovet ja takaluukut. Tehtaalla on tähän tarkoitukseen kaksi robottia. Liitoksissa käytetään sekä hitsausta että juottamista, kuva 12. Lasereita on kaksi kappaletta ja niitä käytetään takaluukun valmistuksessa (laserhitsaus) ja ovien valmistuksessa (laserjuottaminen). Hitsauksessa ei käytetä lisääainetta. Juottamisessa lisääineena on piipronsilanka CuSi3Mn



Kuva 12. Laserjuottaminen ovien valmistuksessa (Valmet Automotive Oy).



Kuva 13. Oven laserjuotossaumaa (Valmet Automotive Oy).

(Fontragen A202 M), jota lasersäde sulattaa juotossaumaan, kuva 13.

Arto Parkko (Pemamek Oy) tuli Loimaalta, kuva 14. Pemamek on johtavia ellei peräti johtava hitsausautomaatiota suunnitteleva ja valmistava yritys maailmassa. Siis maailman luokan yritys! Henkilökuntaa on lähes 170, joista suuri osa on insinöörejä. Liikevaihto on noin 20 miljoonaa euroa, josta vientiin menee jopa yli 90 %. Toimituksia koko toiminta-aikana on ollut noin 15 000. Myyntikonttoreita on Venäjällä, Puolassa ja Brasiliassa sekä äskettäin avattu konttori Houstonissa USA:ssa. Perheomistuksessa oleva Pema-



Kuva 14. Arto Parkko (Pemamek Oy).



Kuva 15. Laser-MAG-hybridihitsausasema telakalla (Pemamek Oy).

mek on AAA-luokiteltu vakavarainen yritys. Tehtaalle on valmistumassa laajennus, joka lähes kaksinkertaistaa tilat. Tänä vuonna yrityksessä myös tapahtui sukupolven vaihdos, kun yrityksen pitkäaikainen toimitusjohtaja Pekka Heikonen siirtyi hallituksen puheenjohtajaksi. Nyt yritystä johtaa hänen poikansa Jaakko Heikonen.

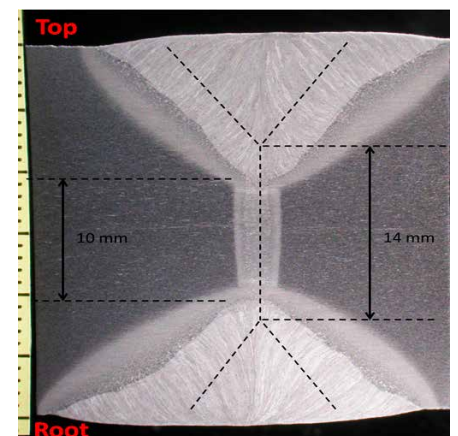
Pemamekin pääasiakasegmentit ovat konepajateollisuus, liikkuvat työkonet, raskaat teräsrakenteet, laivanrakennus ja offshore, kattilateollisuus, tuulivoimateollisuus ja prosessi- ja ydinvoimateollisuus.

Esitelmän aiheena oli Laser-MAG-hybridihitsauksen käyttö raskaassa hitsaavassa teollisuudessa. Pemamek on myös aktiivisesti mukana hybridihitsauksessa, esim. laivanrakennus (esim. "lakanalinjat") ja tuulivoimaloiden tornien valmistus, joissa kummassakin hybridihitsauksella voidaan saavuttaa merkittäviä tehokkuusetuja. Laivanrakennuksessa merkittävä etu on hyvin pienet hitsattujen levyjen muodonmuutokset verrattuna perinteiseen jauhekaarihitsaukseen. Pemamek on toimittanut eurooppalaisille telakoille viime vuosina mm. kolme suurta laser-hybridilinjaa: Italiaan 2014, Ranskaan 2016 ja Saksaan 2016 (ks. HT-lehti 5/2016), kuva 15. Linjoihin sisältyy myös levyjen kuljetus asemalle, raihojen koneistus, yhdeltä puolen hitsaus, hitsien juurenpuolen monitorointi ja mittaus sekä levyjen purku asemalta.

Ranskan aseman toimituksessa hitsauslaitteisto koostuu mm. hybridipäästä (laser + MAG) ja sitä seuraavasta kahdesta tandem-MAG-hitsauspäästä. Riippuen levynpaksuudesta hitsauksessa käytetään vain hybridipäätä tai hybridi + tandem-MAG-päitä. Levynpaksuudet ovat 4-25 mm ja järjestyksessä vastaavat hitsausnopeudet 4 - 0,9 m/min. Raihomoito on asemassa koneistettu Y-raiho. Tuottavuuden lisäys on useita kymmeniä prosentteja. Hitsien kovuuksien kanssa on ollut hiukan ongelmia, mistä syystä saate-

taan joutua käyttämään lievää esilämmitystä, jotta alitetaan luokituslaitosten asettamat rajat, esim. max 380 HV. Teräksen valinta on tässä suhteessa myös oleellinen, esim. termomekaanisella teräksellä päästään talampiin kovuuksiin.

Tuulimyllyjen valmistuksessa iso osuus on tornin putkimaisten (lieriöiden) eli "tummiemien" valmistus ja niiden jatkohitsaus pitemmiksi putkiksi, jotka paikan päällä liitetään toisiinsa pulttiliitoksien, jopa yli 100 metrin korkuiksi torneiksi. Perinteellinen ja käytössä olevat hitsausmenetelmä on jauhekaarihitsaus erilaisine tehokkaine variaatioineen. Pemamek on tehnyt myös hitsauskokeita, mm. 30 mm:n levyä täyttävää hitsaus, jossa X-raihon korkea juuripinta hitsataan laser-hybridillä (laser + MAG) ja raihon täyttö tandem-jauhekaarella (1-lanka + twin), kuva 16. Se lupaa suurta hitsauksen tehokkuuden kasvua ja tilauksia on odotettavissa maailmalta hitsausasemalle.



Kuva 16. Paksun levyä täyttävää hitsaus. Makrokuvaa 30 mm paksusta hitsistä, jossa X-raihon juuripinta (14 mm) on hitsattu laser-MAG-hybridillä ja täyttöpalko molemmille puolille tehokkaalla jauhekaarihitsauksella (Pemamek Oy).



Kuva 17. Paavo Pitkänen (Vahterus Oy).

Seuraavana oli **Paavo Pitkänen** (Vahterus Oy), jonka esitelmän nimi oli Lasercase Vahterus, kuva 17. Hän vertasi yritystään edelliseen yritykseen eli Pemamekiin. Molemmat ovat melko samankokoisia ja ”maailmanluokan” yrityksiä omilla toimialoillaan. Vahterus sijaitsee Kalannissa Uudenkaupungin kupeessa. Vahteruksen juuret ja päätoimipiste sijaitsevat Kalannissa, jonne Mauri Kontu perusti yrityksen 1990. Ei ole sattumaa, että yrityksen juuret ja päätoimipiste sijaitsevat Vakka-Suomessa, sillä alueen vahvasta teollisesta historiasta kumpuaa Vahteruksen nimen lisäksi yrityshenkisyys, tahto menestyä sekä kansainvälisyys.

Juuri ilmestynyt kansainvälinen tutkimus lämmönsiirrin markkinoista kertoo, että Vahterus on markkinajohtaja maailmalla Plate&Shell -lämmönsiirtimissä ja kolmanneksi suurin hitsattujen levylämmönsiirrinten valmistaja maailmalla. Vahterus suunnittelee ja valmistaa maailmalle kehittämäänsä levylämmönsiirrintä (shell & plate heat exchan-

ger). Vahteruksen kehittämä Plate & Shell -levylämmönsiirrin (PSHE) on lämmönsiirrotekniikan ja laadun edelläkävijä kompaktissa koossa. Siirrin koostuu täysin hitsatuslevypakasta, jota ympäröi vahva hitsattu vaipparakenne. Rakenteensa ansiosta Vahterus Plate & Shell lämmönsiirtimissä yhdistyy levy- ja putkilämmönsiirtimien parhaat ominaisuudet.

Lämmönsiirrimen suunnittelussa yksi tärkeä vaihe on oikean materiaalin valinta, jotta tuotteen yhteensopivuus ja korroosionkestävyys tulee huomioitua. Plate & Shell -lämmönsiirtimiä valmistetaan monista eri materiaaleista, jotka vastaavat useimmille nykyaikaisille prosesseille asetettuja vaatimuksia. PSHE-rakenteen tehokkuuden ansiosta materiaalien käyttö pysyy minimissään, mikä taas tarkoittaa merkittävää säästöä kustannuksissa. Yleisimmät materiaalit ovat: Levymateriaaleja:

- Ruostumaton teräs 1.4404 / AISI 316L
- Ruostumaton teräs 1.4539 / N08904 / AISI 904 L
- Ruostumaton teräs 1.4547 / SMO 254 / UNS S31254
- Ruostumaton teräs 1.4462 / duplex 2205 / UNS S31803
- Titaani Gr 1
- Nikkeliseos 2.4068 / N02201 /201
- Nikkeliseos Hastelloy C22 / 2.4602 / N0602

Vaippamateriaaleja:

- Seostamaton teräs P235GH, P265GH, P355NL2 ja SA333Gr6
- Ruostumaton teräs 1.4404 / AISI 316L

Yhtenä erikoisosaamisen alueena ovat meriveteen sopivat täystitaaniset lämmönsiirrit, kuva 18.

Yksi sellainen toimitettiin keväällä Fortumin Naantalın lämpövoimalaan (ks. Hit-

saustekniikka-lehti No 3/2016: Täystitaanisen lämmönsiirrimen hitsaus vaatii parhaat ammattilaiset). Halkaisijaltaan 1,2-metrinen lämmönsiirrimen valmistus oli hitsausteknisesti erittäin vaativa tehtävä.

Pitkäsen esitelmän kohteena oli levypankan valmistuksessa tarvittavien ohuiden levyjen leikkaus. Monien kokeiluiden, neuvotteluiden ja mietiskelyjen jälkeen päädyttiin räätälöityyn leikkausasemaan, jossa levyjen leikkaus tehdään laserleikkauksella ja johon liittyy myös levyjen kuljetus, panostus ja purkaus. Investoinnin takaisinmaksuaika oli kuulemma vajaa pari vuotta.

Olli Saarniaho (Veldo Oy) kertoi Etähitsauksesta laserilla, kuva 19. Hetken mietin, mitä hän se Veldo tarkoittaa, kun esitelmä alkoi. Vastaus tuli heti Saarniahon ensimmäisestä lauseesta. ”Veldo on esperanto ja tarkoittaa hitsausta ja Veldo Oy taas tarkoittaa tarkkuuslaserhitsausta.” Kuitulaserteknologia ja robottitekniikka on yhdistetty yhdeksi toimivaksi kokonaisuudeksi. Käytännössä laserrobotin avulla saadaan parempaa laatua, pystytään laserhitsaamaan ja -leikkaamaan myös monimutkaiset kappaleet sekä materiaaleja, joiden tavallinen hitsaus ei onnistu, esimerkiksi kuparia ja alumiinia. Myös eri materiaalien kuten kuparin ja teräksen tai alumiinin yhdistäminen onnistuu. Laser ei tuo materiaaliin lämpöä, jolloin hitsattava kappale ei laajene ja pysyy suorassa ilman kupruja, joten mittatarkkuus säilyy alusta loppuun.

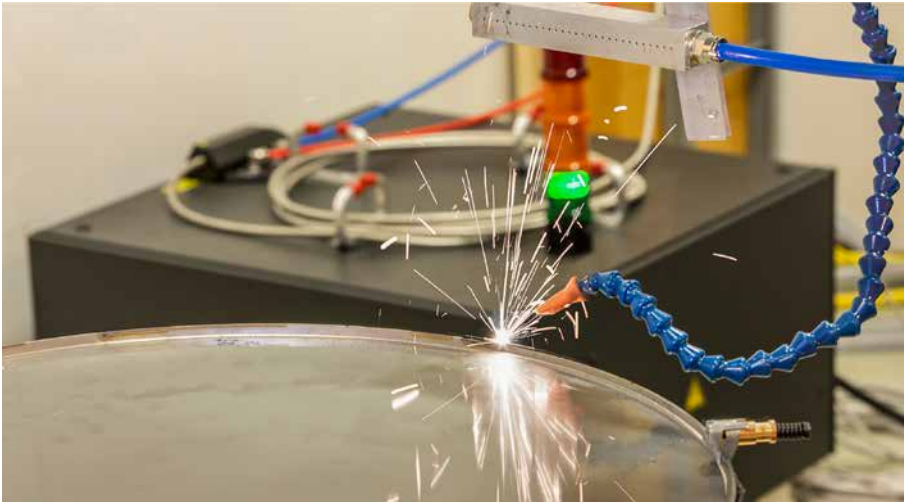
Laserteknologian ja siihen liittyvän skanneritekniikan kehitys on mahdollistanut uudentyyppisen tuotannon, laser-etähitsauksen (remote welding). Skanneri on yhdistetty konenäköön ja robottiin. Itse lasersäteen ohjaus ja hallinta toteutetaan peilien avulla skanneritekniikkaa hyödyntäen. Järjestelmään tai kokonaisuuteen integroidaan konenäkö. Konenäkö kohdistaa lasersäteen oikeaan kohtaan ja varmentaa hitsausjäljen laadun. Koko



Kuva 18. Täystitaaninen levylämmönsiirrin (Vahterus Oy).



Kuva 19. Olli Saarniaho (Veldo Oy).



Kuva 20. Ruostumattomasta teräksestä valmistetun säiliön hitsaus skannerilla (Veldo Oy).



Kuva 21. Ilkka Lappalainen esitteli yrityksensä toimintaa ja tuotteita lasertyöstön näyttelyssä (Ionix Oy).

toimintaa ohjataan samasta järjestelmästä.

Teknologian ansiosta tasomaiselle pinnalle (2D) onnistuvat myös erityistä tarkkuutta vaativat toteutukset. Myös kolmiulotteiset pinnat (3D) ovat mahdollisia eli oli pa pinta kupera tai kovera, tarkkuuslaserilla kaikki onnistuu. Laserlaitteella voidaan hitsata herkkiä komponentteja sisältäviä kohteet sekä erittäin ohuita materiaaleja.

Lopuksi **Veli Kujanpää** (VTT) kertoi Laserfoorumin toiminnasta ja tulevaisuuden visioista. Laserfoorumi on yksi SHY:n foorumeista ja se on perustettu 2005. Foorumi perustuu yritysjäsenyyteen. Tällä hetkellä jäsenenä on noin 10 yritystä sekä viisi koulu- ja tutkimuslaitosta.

Laserfoorumin toiminta-ajatus:

- Teollisuuden ja tutkimuslaitosten yhteistyön edistäminen
- Tutkimushankkeiden suuntaaminen teollisuuden keskeisiksi katsomiin aiheisiin
- Tiedotus toteutetuista tutkimuksista
- Yritysedustajien säännöllinen yhteydenpito
- Koulutuksen edistäminen

Laserfoorumin toiminta-alueita:

- Lasertyöstöprosessit (laserhitsaus, -leikkaus, -pintakäsittelymenetelmät, -merkkäus,jne.)
- Lasertyöstetyn tuotteen suunnittelu
- Eri materiaalien lasertyöstettävyyttä
- Lasertyöstön laadunhallinta
- Lasertyöstön turvallisuus
- Taloudellisuustekijät
- Terminologia
- jne

Laserfoorumin aktiviteetteja:

- Seminaarit (itse järjestetyt ja yhteistyössä muiden organisaatioiden kanssa)
- Kokoukset (2-3 /vuosi jäsenyrityksissä)
- Yhteistyö muiden foorumeiden kanssa
- Yhteistyön aktivointi jäsenten välillä
 - erityispaino pk-yrityksissä
 - ekskursiot laadukkaitiin yrityksiin ja tutkimusorganisaatioihin

■ Kansainväliset aktiviteetit

- foorumin edustajia konferensseissa, joista raportoidaan foorumin kokouksissa
- yhteistapaamisia alan messuilla
- bench marking Suomen ja kansainvälisten toimintojen välillä
- laserhitsauksen Roadmap

■ Tutkimus

- tutkimuksen suuntaaminen alan tutkimusosapuolilla
- diplomitöiden teettäminen

Seminaarin lopuksi tehtiin yritysvierailut kolmeen yritykseen, Veldo Oy, 3DSTEP OY ja Tampereen teknillinen yliopisto (TTY).

Lisälukemista laser-aiheesta

Anna Fellman: Laser and Laser Hybrid Welding in Finnish Industry. Hitsaustekniikka No 2-3/2015.

Anna Fellman: Laser ja laserhybridihitsauksen myytit syynissä. Hitsaustekniikka No 1/2015.

Antti Salminen ja Veli Kujanpää: Laserhitsaus tänään ja huomenna. Hitsaustekniikka No 1/2015.



Kuva 22. Jari Tuominen kertoi iltapäivän vierailusta lasersovelluslaboratorioon (Tampereen Teknillinen Yliopisto).

**Juha Lukkari
Päätoimittaja
Hitsaustekniikka-lehti**



Kuva 23. Pekka Ketola kertoi iltapäivän vierailusta teemalla taikapölystä tuotteiksi (3DSTEP Oy).

Oulun siika pyhä kala

- Raahenseudun paikallisosasto hiekkasärkillä

Jouko Lassila ja Angelica Emeléus



Marraskuussa kokoontui Hitsausteknillinen yhdistys Raahenseudun paikallisosaston 40 -vuotisjuhliin Kalajoelle Kylpylähotelli Saniin. Päivien lämmittely suoritettiin läheisessä Ravintola Pihvituvassa ohjatun viininmaistelun merkeissä. Seminaariosuudessa kuultiin kymmenkunta esitystä. Miten esimerkiksi Pyhäjoelle rakennettavan Fennovoima Oy:n ydinvoimalaitoksen hitsien laadunvarmistus toteutetaan ja kuinka Caverion Industria Oy:llä minimoidaan kuormalujen paksuseinämäisten putkistojen hitsit putkia taivuttamalla.

Raahen paikallisosasto, kuten tuonaikainen Hitsaustekniikka-lehti kertoo, perustettiin 2.2.1976. Tuolloin suuri osa Pohjois-Suomen hitsaavasta teollisuudesta toimi Raahen seudulla. Aiemmin Oulun paikallisosastoon kuuluneet hitsausmiehet saivat nyt oman osaston. Kummina toimi Oulun paikallisosasto ja muutenkin yhteistyö alkoi hyvin. Samassa kokouksessa päätettiin yhteisestä ekskursionista Luulajaan.

Raahenseudun paikallisosaston lähtökohdat olivat myös Rautaruukin, sittemmin Ruukin ja nykyisin SSAB:n toiminnassa ja henkilöstössä. Tällä hetkellä jäsenistö on leviittänyt otsikossa mainittujen jokisuistojen kaupunkiin ja sisämaahan aina Ylivieskaa, Nivalaa ja Haapavettä myöden. Pohjoisessa tulee vastaan Oulun ja etelässä Pohjanmaan paikallisosasto.

Nyt järjestetty 40 -vuotisjuhlaseminaari oli hyvin teräksen makuinen. Muita näkökulmia tarjosivat esimerkiksi laserin käyttö hitsauksessa ja leikkauksessa, sosiaalisen median hyödyntäminen markkinoinnissa, suunnitteluvierin käynnistäminen ja metalliosien 3D -tulostaminen. Seminaarin yhteyteen järjestetyssä näyttelyssä esittelivät hitsaustekniikan tuotteita ja palveluita Jokiedu Oy, Metlab Oy, Procatec Oy, Projant Oy, RD Velho Oy ja Retco Oy. Hienosti järjestettyihin tilaisuuksiin osallistui yhteensä noin 50 henkeä.

Seminaarin esitelmät on luettavissa yhdistyksen kotisivuilla etusivun valikosta Seminaariaineistot.

Jouko Lassila
toiminnanjohtaja
Suomen Hitsausteknillinen Yhdistys ry
jouko.lassila@shy.inet.fi

Angelica Emeléus
toimisto- ja toimitussihteeri
Suomen Hitsausteknillinen Yhdistys ry
angelica.emeleus@shy.inet.fi



Puheenjohtaja Ismo Meuronen toi tilaisuuteen SHY:n terveiset ja painotti tuottavuuteen panostamisen tärkeyttä.



Raahenseudun paikallisosaston puheenjohtaja Matti Peltola kertoi tervetulosanoisinaan, että metsä-, kemia- ja metalliteollisuus ovat alueelle edelleen tärkeitä.



Kalajoen matkailu on voimakkaassa nousussa vahvuuksinaan meri, aurinko ja hiekka, perinteisten puun, metallin ja yrittäjähenkisyyden lisäksi, paljasti kaupunginjohtaja Jukka Puoskari.



Hitsausinsinööri Anssi Brederholm selvitti Fennovoima Oy:n vuonna 2024 käynnistyvän ydinvoimalaitoksen hitsauksen laatuvaatimuksia ja standardeja.



Asiantuntija Jukka Siltanen SSAB Europe Oy:n teräspalvelukeskuksesta neuvoi, miten laserhitsauksen avulla saadaan tuotteille lisää kilpailukykyä.



RD-Velho Oy:n toimitusjohtaja Mika Kiljala valotti vientitoiminnan aloittamisen haasteista ja kertoi yrityksestä ja sen referensseistä.



Toimitusjohtaja Jouni Anttila Projant Oy:stä kertoi sosiaalisen median vaikutuksista ostokäyttäytymiseen ja mahdollisuudesta kasvattaa kannattavaa kauppaa.



Caverion Industria Oy:n Veikko Syrjäniemi kertoi miten Ylivieskan konepajalla minimoidaan kuormalujien putkistojen hitsit paksuseinämäisiä putkia taivuttamalla.



Oulun yliopiston Oulun Eteläisen Instituutin tutkijatohtori Kimmo Mäkelä innosti yleisöä metallien 3D-valmistuksen uusilla mahdollisuuksilla ja käytännön sovelluksilla.



Hitsauskoordinaattori Jarmo Koskimaa Ruukki Construction Oy:stä kertoi teräsrakenteiden hitsien dokumentoinnista ja jäljitettävyydestä.



Vaalikokouksen päätteeksi toiminnanjohtaja Jouko Lassila kiitti Ismo Meurosta yhdeksän vuotta kestäneestä puheenjohtajuudesta.



Kunnia- ja ansiomerkit vastaanottivat: vasemmalta: Juha Mäntykangas, (hopeinen ansiomerkki), Martti Saarela, (kultainen kunniamerkki) ja Mika Haapakoski (hopeinen ansiomerkki). Kuvasta puuttuvat Pasi Leiviskä ja Veijo Heikkilä, jolle myös myönnettiin hopeiset ansiomerkit.



Raahenseudun paikallisosaston pitkäaikainen puheenjohtaja Oy SteelDone Group Ltd:n toimitusjohtaja Martti Saarela muisteli menneitä.



Paikallisosaston 40 -vuotisjuhlaillallisen tunnelmaa.



Neljäänkymmeneen vuoteen mahtui useita mielenkiintoisia hetkiä myös Prohoc Oy:n Martti Häkkinen kertomana.



Toiminnanjohtaja Lassila luovutti yritysvierailun yhteydessä standardin Caverion Industria Oy:n tuotantopäällikkö Anselmi Kinnuselle.



Paikallisosaston alkuaajoista kuultiin perustamisen aikana SHY:n sihteerinä Rautaruukin pääkonttorissa toimineen Heikki Rantasen muistelmia.

Prof Jukka Kömi SHY:n puheenjohtajaksi

Jouko Lassila ja Jukka Kömi



Prof Jukka Kömi ja Oulun yliopiston terästutkimuksen avainresurssin, GLEEBLE -laitteiston ohjauspaneeli.

Oulun yliopiston fysikaalisen metallurgian professori TKT Jukka Kömi (54) valittiin Suomen Hitsausteknillisen Yhdistyksen puheenjohtajaksi marraskuun vaalikokouksessa Kalajoella. Ensimmäisenä varapuheenjohtajana jatkaa IWE Ari Ahto Nakkila Works Oy:stä ja toiseksi varapuheenjohtajaksi valittiin Kemppi Oy:n IWE Reetta Verho. Yhdeksän vuotta puheenjohtajana toiminut Neuro-Techin Ismo Meuronen, siirtyi hyvin ansaitsemalleen vapaalle yhdistyksen hallituksesta.


Jukka Kömillä on neljännesvuosisadan työkokemus terästeollisuudesta ennen siirtymistään Oulun yliopistoon viime vuoden huhtikuussa. Tutuksi ovat tulleet sekä ruostumattomat teräkset Outokummussa että hiiliteräkset Rautaruukissa, nyttemmin SSAB Europe Oy:ssä. Jukka valmistui diplomi-insinööriksi Oulusta vuonna 1990, tekniikan lisensiaatiksi vuonna 1992 ja tekniikan tohtoriksi vuonna 2001. Outokumpu Polarit Oy:llä hän aloitti vuonna 1992 ja jatkoi Rautaruukki Steel Oy:lle vuonna 1999.

Tehtävät terästeollisuudessa ovat olleet tuotekehityspainotteisia. Tyypillisiä nimikkeitä olivat tutkimuspäällikkö ja tutkimusjohtaja ja tuotekehitysjohdaja. Yhteistyö yliopistojen

kanssa on koko uran ajan ollut tiivistä. Jukka ohjasi teollisuudesta käsin kolme väitöstyötä ja kahtakymmentä diplomityötä Oulussa, Tampereella ja Lappeenrannassa. Teräksen valmistuksen eri vaiheista on syntynyt kolme patentoitua keksintöä ja 48 tieteellistä julkaisua.

Jukka on toiminut useiden Tekesin ja SHOKin ohjelmien mutta myös Euroopan hiili- ja teräsyhteisön ohjelmien johtoryhmissä. Hän oli aiemmin SHY:n Raahenseudun paikallisosaston ja nyttemmin Oulun paikallisosaston jäsen. SHY:n hallituksessa hän on toiminut vuodesta 2013 alkaen, vuodesta 2014 varapuheenjohtajana. Jukka on myös METSTAn hallituksen jäsen vuodesta 2011 alkaen.

Siinä, missä pitkän puheenjohtajakauden päättäneellä Ismolla on näkemystä hitsauksen laitetekniikasta, on Jukalla runsaasti kokemusta terästen ominaisuuksista ja kehittämistä. "Odotettavissa on metallinjalostajien ja hitsaavan teollisuuden yhteistyön lisääminen kansallisesti ja Suomen roolin



Puheenjohtajat

Prof Olavi Eiro	1949-1956
DI Hans Branders	1957-1958
DI Harras Porkka	1959-1961
DI Risto Järnefelt	1962-1967
DI Mauri Sormaala	1968-1983
TkT Karri Vartiainen	1984-1986
Tj Jouko Kemppi	1987-1995
DI Lauri Kärävä	1996-2001
Prof Risto Karppi	2002-2007
DI Ismo Meuronen	2008-2016
Prof Jukka Kömi	2017-

kirkastaminen lujien terästen hitsausosajana kansainvälisesti. Ensimmäisiä käytännön toimenpiteitä on varmaankin SHY:n Materiaali- ja tuotantofoorumien toiminnan uudelleen aktivoiminen."

Jouko Lassila
toiminnanjohtaja
Suomen Hitsausteknillinen Yhdistys ry
jouko.lassila@shy.inet.fi

Jukka Kömi
puheenjohtaja
Suomen Hitsausteknillinen Yhdistys ry
jukka.komi@oulu.fi

SHY:n hallitus 2017

Puheenjohtajat:

Pj TKT Jukka Kömi	Oulun yliopisto	jukka.komi@oulu.fi
1.vpj IWE Ari Ahto	Nakkila Works Oy	ari.ahto@nakkilagroup.fi
2.vpj IWE Reetta Verho	Kemppi Oy	reetta.verho@kemppi.com

Jäsenet:

DI Jaakko Heikonen	Pemamek Oy	jaakko.heikonen@pemamek.com
Tj Pentti Kopiloff	Tapex Oy	pentti.kopiloff@tapex.fi
IWE Ville Lahtinen	Inspecta Tarkastus Oy	ville.lahtinen@inspecta.com
IWE Timo Kankala	Koneteknologiakeskus Turku Oy	timo.kankala@koneteknologiakeskus.fi
TkL Timo Kauppi	Lapin ammattikorkeakoulu/OY	timo.kauppi@lapinamk.fi
Prof Jukka Martikainen	Lappeenrannan teknillinen yliopisto	jukka.martikainen@lut.fi
IWE Jaakko Prokki	DEKRA Industrial Oy	jaakko.prokki@dekra.com
IWE, IWI-C Petteri Souru	Souru Oy	petteri.souru@souruoy.fi
IWT Mikko Vaittinen	Oy AGA Ab	mikko.vaittinen@fi.aga.com

Varajäsenet:

IWE Niko Kuikka	Suomen Levyprofiili Oy	niko.kuikka@gmail.com
DI Kari Mäntyjärvi	Oulun yliopisto	kari.mantjarvi@oulu.fi
IWE Pasi Hiltunen	DG-diving Group Oy	pasi.j.hiltunen@gmail.com
DI Ville Saloranta	METSTA ry	ville.saloranta@metsta.fi
DI Pasi Leiviskä	SSAB Europe Oy	pasi.leiviska@ssab.com
EWT Henry Sollman	Helen	henry.sollman@helen.fi

Hallitus kokoontuu vuonna 2017 seuraavasti: to 16.3., 9.6., 6.9., 25.10. ja 12.12. SHY:n sääntömääräinen vuosikokous pidetään 6.4. Savonlinnassa. Hallituksen ja paikallisosastojen yhteistapaaminen järjestetään 6.9.

TULEVIA TAPAHTUMIA

SHY:n tapahtumat 2017

22.2. SHY Pohjois-Karjalan paikallisosaston vuosikokous

KKR Steel Oy, Joensuu
Lisätietoja: www.hitsaus.net

6.-7.4. Hitsaustekniikka'17 -päivät, Savonlinnan paikallisosaston 40-vuotisjuhlailallinen sekä SHY:n vuosikokous

Ravintola Paviljonki ja Olavinlinna, Savonlinna
Järj. Savonlinnan paikallisosasto
Lisätietoja sivulla 72 sekä www.hitsaus.net

SHY:n paikallisosastojen ja senioriklubien tapahtumista tiedotetaan yhdistyksen kotisivuilla ja sähköisillä uutiskirjeillä. Varmista kokouskutsujen ja jäsenpostin perilletulo ilmoittamalla voimassa olevan sähköpostiosoitte joko paikallisosastosi sihteerille tai SHY:n toimistoon!

MUUT 2017

15.-18.5. Taitaja2017 Helsinki – ammattitaidon suomenmestaruuskilpailut

Messukeskus, Helsinki
Järj. Taitaja2017 Helsinki ja Skills Finland ry
Lisätietoja: www.taitaja2017.fi

26.-28.9. Alihankinta 2017-messut

Tampereen Messu- ja Urheilukeskus
Järj. Tampereen Messut
Lisätietoja: www.alihankinta.fi

KANSAINVÄLISET 2017

25.-30.6. The 70th IIW Annual Assembly and International Conference

Shanghai, Kiina
Järj. Chinese Welding Society
Lisätietoja: www.IIW2017.com

24.-26.8. NWC 2017 (ent. Nordisk Svetsmöte)

Reykjavik, Islanti
Järj. Icelandic Welding Association (Malmsusufelag Islands)
Lisätietoja lähempänä tapahtumaa: www.malmsuda.is

25.-29.9. Schweissen & Schneiden –messut

Düsseldorf, Saksa
Järj. Messe Essen
Lisätietoja: www.schweissen-schneiden.com
SHYn senioriklubien yhteisestä messumatkasta lisätietoa sivulla 67



KOULUTUSUUTISIA



INTERNATIONAL WELDING SPECIALIST (IWS)

Hitsausneuvoja

Nivalan ammattiopisto

Tilus Leo	IWS FI02221
Luukko Mika	IWS FI02222
Karvonen Teemu	IWS FI02223
Rajaniemi Jarkko	IWS FI02224
Suomalainen Mikko	IWS FI02225
Jylhä-Ollila Heikki	IWS FI02226

INTERNATIONAL WELDED STRUCTURES DESIGNER (IWSD)

Hitsatun rakenteen suunnittelija Comprehensive Level

Lappeenrannan teknillinen yliopisto

Uusi-Simola Jussi Tapio	IWSD-C FI00053
Silvast Tatu Esko Johannes	IWSD-C FI00054

WELDING REINFORCING BARS AT THE SPECIALIST LEVEL EWF 544-1 (WRB) Betoniterästen hitsauskoordinoija

WinNova

Myllykangas Lasse	FI 00023
Haapakoski Mika	FI 00024
Hanhela Matti	FI 00025
Helin Tapio	FI 00026
Hildén Esko	FI 00027
Jukarainen Matti	FI 00028
Kaivola Markku	FI 00029
Kantola Janne	FI 00030
Kivioja Keijo	FI 00031
Laurfeld Urmas	FI 00032
Laurikkala Jarmo	FI 00033
Myrsky Anne	FI 00034
Nykänen Tomi	FI 00035
Ojansivu Matti	FI 00036
Orava Tuomo	FI 00037
Soukka Markku	FI 00038
Souru Petteri	FI 00039

INTERNATIONAL FILLET WELDER (IFW)

Hitsaaja

International MMA Welder

Edupoli

Björklund Kettil	IFW111-1.1-FI03232
Jokinen Jan	IFW111-1.1-FI03231
Vilki Aku-Oskari	IFW111-1.1-FI03234

Koulutuskeskus Salpaus

Rantanen Mervi	IFW111-1.1-FI03229
----------------	--------------------

Valkeakosken ammatti- ja aikuisopisto

Jääskeläinen Jarkko	IFW111-1.1-FI03221
Martikainen Lauri	IFW111-1.1-FI03216
Martikainen Tuulia	IFW111-1.1-FI03219
Rasi Kimmo	IFW111-1.1-FI03222

Vuorinen Tony	IFW111-1.1-FI03224
---------------	--------------------

International MIG/MAG Welder

Koulutuskeskus Salpaus

Rantanen Mervi	IFW135/136-1.1-FI03215
----------------	------------------------

Valkeakosken ammatti- ja aikuisopisto

Martikainen Lauri	IFW135-1.1-FI03217
Martikainen Tuulia	IFW135-1.1-FI03220
Rasi Kimmo	IFW135-1.1-FI03223

Edupoli

Björklund Kettil	IFW141-22-FI03233
Oksanen Marko	IFW141-8.1-FI03230

International TIG Welder

Koulutuskeskus Salpaus

Järvinen Olli	IFW141-8.1-FI03228
Jääskeläinen Jarkko	IFW141-8.1-FI03226
Pöysti Tuomas	IFW141-8.1-FI03218
Vuorinen Tony	IFW141-8.1-FI03225

WinNova, Rauma

Varjo Teemu	IFW141-8.1-FI03227
-------------	--------------------

Edupoli

Jokinen Jan	IPW141-8.1-FI01276
Oksanen Marko	IPW135-1.1-FI01278

Koulutuskeskus Salpaus

Järvinen Olli	IPW135-1.1-FI01277
---------------	--------------------

INTERNATIONAL PLATE WELDER (IPW)

Hitsaaja

International MMA Welder

Valkeakosken ammatti- ja aikuisopisto

Pöysti Tuomas	IPW111-1.1-FI01272
---------------	--------------------

International MIG/MAG Welder

Valkeakosken ammatti- ja aikuisopisto

Jääskeläinen Jarkko	IPW135-1.1-FI01273
Vuorinen Tony	IPW135-1.1-FI01274

WinNova, Rauma

Varjo Teemu	IPW136-2.1-FI01275
-------------	--------------------

INTERNATIONAL TUBE WELDER (ITW)

Hitsaaja

International TIG Welder

Amiedu

Dulov Vladislav	ITW141-8.1-FI01424
Grönstrand Tino	ITW141-8.1-FI01429
Hamberg Teemu	ITW141-8.1-FI01426

Keskinen Olli	ITW141-8.1-FI01430
Koivumäki Juho	ITW141-8.1-FI01427
Samichev Aleksandr	ITW141-8.1-FI01423
Tamminen Samuli	ITW141-8.1-FI01425
Björklund Kettil	ITW141-8.1-FI01445

Keski-Pohjanmaan Aikuisopisto

Ojala Juho	ITW141-8.1-FI01420
------------	--------------------

Länsirannikon Koulutus Oy, WinNova

Heinonen Eki	ITW141-8.1-FI01422
--------------	--------------------

Turun Aikuiskoulutuskeskus

Suomi Jari	ITW141-8.1-FI01428
------------	--------------------

Vaasan Aikuiskoulutuskeskus

Sosyedskey Oleksandr	ITW141-8.1-FI01432
----------------------	--------------------

Valkeakosken ammatti- ja aikuisopisto

Kärkkäinen Asko	ITW141-8.1-FI01440
Malin Niko	ITW141-8.1-FI01448
Martikainen Lauri	ITW141-8.1-FI01433
Martikainen Tuulia	ITW141-8.1-FI01441
Pernu Jarmo	ITW141-8.1-FI01437
Rasi Kimmo	ITW141-8.1-FI01442

Vuonna 2016 myönnettiin Suomessa IW/EWF -todistuksia yhteensä 448 kpl seuraavasti:
 IWE 28 kpl, IWT 2 kpl, IWS 93 kpl, IWI-C 16 kpl, IWI-S 6 kpl, IWP 3 kpl, IFW 166 kpl, IPW 34 kpl, ITW 79 kpl, IWSD-C 4 kpl ja WRB (EWF 544-1) 17 kpl.
 Luettelo hyväksytyistä koulutuksen järjestäjistä (Approved Training Bodies, ATB's) löytyy SHY:n kotisivuilta sekä HT 6/2016 -lehestä sivulta 11.

Hitsaustekniikka
 -lehden jokainen numero
 on erikoisnumero!

Teemat v. 2017:

NRO	TEEMA
2/2017	Teollinen hitsaus
3/2017	Laatu, NDT, DT ja standardit
4/2017	Alihankinta, IIW 2017
5/2017	Korjaushitsaus
6/2017	Hitsausprosessit

Ilmoitusmyynti:

Elina Tenhunen /
 T:mi Petteri Pankkonen
 puh. **040 779 9653**
 tai 040 504 6774
 sähköposti:
elina.tenhunen@pp-marketing

Lisätieto: www.hitsaus.net

HITSAUKSEN

Lukkari
Kyröläinen

MATERIAALIOPPI

OSA 1: Metallin valmistus, rakenne ja valmistus, rakenne hitsauksessa, materiaali

HITSAUKSEN MATERIAALIOPPI

Lukkari
Kyröläinen
Kauppi

OSA 2: Metallit ja niiden hitsattavuus

UUSI HITSAUKSEN MATERIAALIOPPI NYT MYNNISSÄ

Hitsauksen materiaalioppi -kirja - osat 1 ja 2 - on tarkoitettu hitsaushenkilöstön kansainvälisten koulutusohjelmien mukaisten IWE-, IWI-, IWT- ja IWS-kurssien oppikirjaksi. Kirjat täyttävät kansainvälisen hitsausjärjestön IIW:n (International Institute of Welding) ja sen alakomitean IAB:n (International Authorisation Body) Guidelinen aihealueen Materiaalien käyttäytyminen hitsauksessa (Materials and their behaviour during welding) sisältövaatimukset hitsausinsinööriskursseille ja luonnollisesti myös alemmille koulutustasoille.

Kirjat soveltuvat myös muulle hitsaus- ja metallialan henkilöstölle sekä materiaaliasioiden parissa työskenteleville henkilöille koulutus- ja opiskelumateriaaliksi, perustietolähteeksi yms.

Hitsauksen materiaalioppi on jaettu kahteen kirjaan, yleisosa (Osa 1) ja materiaali-kohtainen hitsattavuusosa (Osa 2).

Osa 1: Metallin perusteet, terästen luokittelu ja valmistus, rakenneterästen käyttäytyminen hitsauksessa, murtuminen ja korrosio
Koko: A4
Sivuja 188, 230 kuvaa ja 27 taulukkoa
ISBN 978-951-98212-4-5

Osa 2: Metallit ja niiden hitsattavuus
Koko: A4
Sivuja 380, 192 kuvaa ja 233 taulukkoa
ISBN 978-951-98212-5-2

Tekijät: Juha Lukkari, Antero Kyröläinen ja Timo Kauppi
Julkaisija ja kustantaja: Suomen Hitsausteknillinen Yhdistys r.y. (SHY)
Kieli: Suomi
Sivumäärä: 192 + 384
Asu: Pehmeäkantinen kirja
Koko: A4
Painos: 1. painos
Julkaisu vuosi: 2016
Hinta/sarja: 140 € (alv 0%) + toimituskulut

Myynti:
Suomen Hitsausteknillinen Yhdistys r.y.
Mäkelänkatu 36 A 2, 00510 Helsinki
Puh. +358 9 773 2199
Verkkokaupasta www.hitsaus.net
ja kirjakaupat

Taitto: Oriveden Kirjapaino
Painopaikka: Oriveden Kirjapaino 2016



MERKKIPÄIVIÄ



Hitsaustekniikka-lehti onnittelee
päätoimittaja Juha Lukkaria 22.1.2017
vietetyn merkkipäivän johdosta.



UUSIA JÄSENIÄ



YRITYSJÄSENET

Beam-Net Oy, Mieto
Helasteel Oy, Lapua

www.beam-net.fi
www.helasteel.fi

HENKILÖJÄSENET

Helsingin paikallisosasto

Hannu Tapani Jaakola, ISS tekniset palvelut
YVL-tarkastaja Niina Johanna Kero, DEKRA Industrial Oy
IWI-C, Product Quality Manager Harri Tapio Rastivaara, Outotec Finland Oy
DI Jarmo Albin Suominen

Lahden paikallisosasto

IWI-C, Project Quality Manager Jyrki Pekka Vainikka, Andritz Oy

Saimaan paikallisosasto

IWE, Aluepäällikkö Ari Karhinen, Inspecta Oy

Tampereen paikallisosasto

Koneinsinööri (amk), Työnjohtaja Timo Kinnunen, Riikonen Group Oy

SHY:n hallitus hyväksyi kokouksessaan Tampereella 13.12.2016 seitsemän henkilöjäsen- ja kaksi yritysjäsenhakemusta. Uusia jäsenhakemuksia käsitellään seuraavan kerran 16.3.2017.

**SHY:N SENIOREIDEN
MESSUMATKA
SCHWEISSEN & SCHNEIDEN
–MESSUILLE 26.-29.9.2017!**



SHY Helsingin Senioriklubi järjestää perinteisen senioriklubien yhteismatkan SCHWEISSEN & SCHNEIDEN 2017 – messuille Saksaan. Maailman johtava liittämisen, leikkaamisen ja pinnoittamisen ammattitapahtuma järjestetään tällä kertaa Düsseldorfissa 25.-29.9.2017. Matkalla tutustutaan messujen lisäksi Düsseldorfin, Aachenin ja Kölnin nähtävyyksiin sekä käydään vierailulla Hüttenwerke Krupp Mannesmann GmbH:n terästehtaalla

Lennot

Meno 26.9.2017 klo 07.40 – 09.05 A4703
Helsinki – Düsseldorf
Paluu 29.9.2017 klo 18.45 – 22.00 A4708
Düsseldorf - Helsinki

Hotelli

Mercure Hotel Aachen am Dom ★★★★★
Peterstraße 1, DE-52062 Aachen
www.accorhotels.com

Alustava matkaohjelma

Tiistai 26.9.

Lento Helsingistä Düsseldorfiin. Düsseldorfin lentokentältä bussikuljetus suoraan SCHWEISSEN & SCHNEIDEN -messuille. Aviceit jatkavat (suomenkielisen oppaan johdolla) keskustaan klassiselle kaupunkikiertokselle. Kierros tehdään vanhalla Oldtimertram -raitiovaunulla. Lounas ravintola Golden Ringissä. Kello 15 lähdetään messuilta Aacheeniin, jossa majoitutaan hotelli Mercure Hotel Aachen am Dom'iin. Illallinen Aachenissa.

Keskiviikko 27.9.

Aamiaisen jälkeen lähtö (suomenkielisen oppaan johdolla) kokopäiväretkelle Kölniin. Kölnissä on ohjelmassa kaupunkieroa, lounas ravintola Früh am Dom'issa sekä erilaisen perspektiivin kaupunkiin tarjoava Panoramariesteily Reinillä. Tämän lisäksi käydään suklaamuseossa, jossa esitellään historiaa - aina Amerikan, Mayojen ja Atsteekien, ajoilta nykypäivään asti. Illaksi paluu Aacheeniin, jossa iltaohjelma vapaa.

Torstai 28.9.

Aamiaisen jälkeen lähtö Hüttenwerke Krupp Mannesmann GmbH:n terästehtaalle. Tehtaalla ensin yrityksen esittely ja sen jälkeen tehdaskierros (englanninkielinen opastus). Lounaan jälkeen paluu Aacheeniin. Illallinen Aachenissa.

Perjantai 29.9.

Aamiaisen jälkeen tutustuminen (suomenkielisen oppaan johdolla) Aachener Domschatzkammer –museoon, jossa englanninkielinen opastus. Lounas Aachenissa, jonka jälkeen lähtö lentokentälle Düsseldorfiin, josta lento Helsinkiin.

Matkaohjelma on vielä alustava, eikä kustannuksia ole lopullisesti vahvistettu. Matkan hinta tulee olemaan n. 1 200 – 1 300 €/henkilö. Senioriklubien jäsenille tullaan lähettämään ensi tilassa (helmikuun 2017 aikana) täsmennetty kutsu, jossa hinnat ja ilmoittautumispäivä on vahvistettu. Vastuullinen matkanjärjestäjä on Primera Holidays Oy (Matkavekka & Lomamatkat).

Tervetuloa avעיםi tai hitsauksesta kiinnostuneen ystäväsi kanssa mukaan!

Lisätietoja

Helsingin senioriklubi
Seppo Roschier
puh. 040 594 4941
seppot@welho.com

Seniorijäsenyys

SHY:n jäsen voi liittyä senioriklubin jäseneksi (Helsinki, Lahti, Turku tai Tampere) täytettyään 65 vuotta tai siirryttyään eläkkeelle. Senioriklubin hallitus hyväksyy uudet seniorijäsenet ja ilmoittaa heidät yhdistyksen toimistolle. Jäsenen aiemmat etuisuudet, kuten kunnia- ja ainajäsenyys säilyvät ennallaan. Seniorijäsenyys edellyttää seniorijäseniltä voimassa olevan seniorijäsenmaksun maksamista tai kunnia- ja ainajäseniltä klubimaksun maksamista. Kun jäsen eroaa yhdistyksen jäsenyydestä, eroaa hän samalla myös senioriklubin jäsenyydestä. Senioriklubien jäsenten henkilöjäsenmaksu vuodelle 2017 on 30 € ja kunnia- ja ainajäsenten klubimaksu 10 €.



KUTSU SHY:n vuosikokous

Aika: 6.4.2017 klo 17.00

Paikka: Ravintola Paviljonki,
Rajalahdenkatu 4, 57200 Savonlinna

Kokouksessa käsitellään sääntömääräiset asiat.

www.hitsaus.net





70th IAW Annual Assembly & International Conference

June 25th - 30th, 2017 | Shanghai, China

Green Welding Technologies for Effective and Reliable Manufacturing

Online Registration is Now Open @ www.iaw2017.com

Tärkeä kirja kaikille hitsaushenkilöille!

Kirja selvittää perusasioita ja -kysymyksiä, jotka käsittelevät hitsaustaloutta sekä erityisesti hitsauskustannuksia ja toimenpiteitä, joilla voidaan tehostaa hitsaustuotantoa. Kirjan perusajatus on esitellä ja antaa erilaisia työkaluja ja suuntaviivoja sekä ohjeita ja esimerkkejä, joita voidaan käyttää apuna ja tukena analyysi- ja muutostyössä, jonka tehtävän eteen hitsausinsinööri voi joutua. Se voi olla myös osa suurempaa työtä yrityksessä, mikä tähtää tuottavuuden nostamiseen. Tarkoitus on laajentaa hitsausinsinöörin tietämystä hitsaustaloudellisista asioista.

Kirja käsittelee hitsaustekniikan kehitysuuntia, eri hitsausprosessien avaintietoja, hitsauskustannusten laskentaa, herkkyysoanalyysien tekemistä, investointilaskelmia ja hitsaustuotannon kehittämistä. Lukuisat käytännön esimerkit osoittavat, kuinka hitsausprosessin optimoinnilla voidaan nostaa tuottavuutta. Kohderyhmiä ovat mm. hitsausinsinöörit ja muut hitsauskoordinijat, tuotantopäälliköt ja -tekniikot, hitsausopettajat,

IWE/IWT/IWS-pätevyyskurssit ja hitsausyritysten henkilöt. Kirjaa voidaan käyttää myös kurssikirjana erilaisilla hitsauskurseilla ja -seminaareissa.

Hinta: 75€

Kirjan koko:

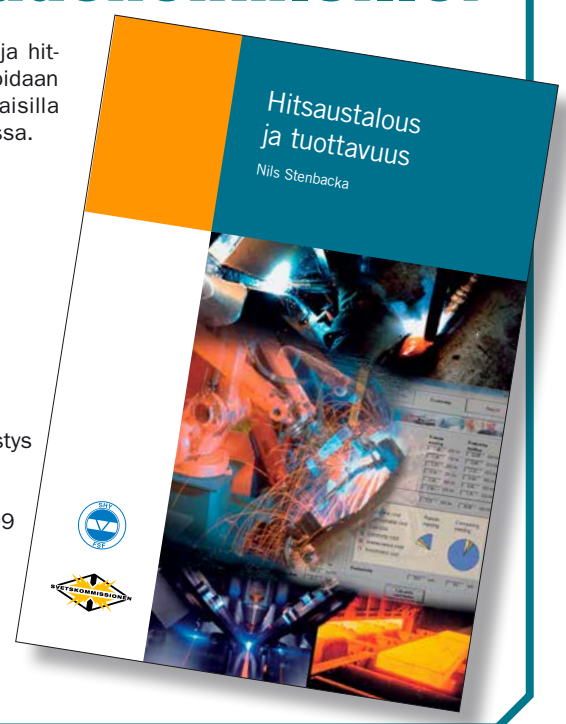
A5 ja 159 sivua

Julkaisija:

Suomen Hitsausteknillinen Yhdistys

Myynti:

Angelica Emeleus, (09) 773 2199
angelica.emeleus@shy.inet.fi
saatavilla myös verkkokaupasta
www.hitsaus.net



Hitsaustalous
ja tuottavuus

Nils Stenbacka



TUOTE- JA TOIMIALAHAKEMISTO

Alihankinta: - Vaativat hitsaustyöt



**Painelaite-,
hitsaus-
ja asennustyöt**

Puh. 0400 742 009
www.hightechtubing.com

ABLEMANS

Vaativat levy- ja hitsaustyöt
Laivanrakennus – Konepajat – Offshore
www.ablemans.fi (02) 439 6500



Tehokasta ohutlevyvalmistusta.
Tuemme asiakasta suunnittelusta
loppukokoonpanoon asti.
Puh. + 358 13 220 050 - JOENSUU
www.suomenlevyprofiili.fi

Hitsaajien pätevöintiä

PÄTEVÖINNIIT AJAN TASALLE AKKREDITOITUNA PED:in (Painelaitedirektiivi 2014/68/EU) II-IV hitsauksiin

Hitsaajien pätevyys- ja menetelmäkokeet (Henkilö- ja tuotesertifiointeja) hyväksytään akkreditoituna PäteWin Oy:n toimesta. Sopimusvalvojaverkostomme valvoo PED-kokeita alla mainituissa oppilaitoksissa. Kokeita voidaan valvoa myös yritysten tiloissa.

Huom! Akkreditoitintimme kattaa myös muovien (PED) ja betoniterästen hitsaukset.

- | | | |
|---|-------------------------------------|--|
| - Länsirannikon Koulutus Oy WinNova
(Rauma, Laitila ja Pori) (+) | - Vaasan AKK (+) | (+) -merkityissä paikoissa
myös menetelmäpätevöinti-
tien valvontaa. |
| - Tampereen AKK (+) | - Raahen Aiku, Raahе (+) | |
| - Turun AKK | - Kainuun Ammattiopisto,
Kajaani | |
| - Sedu Aikuisopisto, Seinäjoki | - AO Lappia, Tornio (+) | |

Lisätiedot löydät osoitteesta WWW.WINNOVA.FI/PATEWIN

PäteWin Oy
PÄTEVÖINTILAITOS

edupoli

- Hitsauksen pätevyyskokeet
- EU-kokeiden valvonta (myös yrityksissä)
- Hitsaajan ja levytekniikan ammattitutkinnon
puikko, tig, mig-mag, levyseppähitsaajan
koulutus

YHTEYDENOTOT:

Seppo Kallinen IWS p. 0400 188 035
Mika Kuusisto IWE p. 040 661 9226
Sähköposti: etunimi.sukunimi@edupoli.fi

Pätevöintilaitos

Hitsaajan PED-pätevyyskokeet
direktiivin mukaisiin hitsauksiin.

Lisätietoja
Kari Särkkä, puh. 044 785 8344
kari.sarkka@sakky.fi
Relanderinkatu 2, 78200 Varkaus
tai www.sakky.fi/patevointilaitos

SAVON AMMATTI-
JA AIKUISOPISTO
Recognized third-party
organization

TUOTE- JA TOIMIALAHAKEMISTO

Hitsauksen kokonaisratkaisut



Ammattilaisilta ammattilaisille.

Woikoski tarjoaa kaiken hitsauksessa tarvittavan: laadukkaan ja laajan hitsauskoneiden valikoiman, hitsauskaasut, lisäaineet ja tarvikkeet.

Omien kaasutuotteidemme lisäksi edustamme tunnettuja kone- ja tarvikemerkkejä, kuten EWM, Hyundai, Kayser, Elga, Binzel ja Kjellberg.

Myyntipisteiden yhteystiedot:
www.woikoski.fi



Hitsauslisäaineita ja -tarvikkeita

KONEET, TARVIKKEET JA LISÄAINEET



RETCO Oyj
welding products
Ojantie 36, Pori
p. 02 634 1900
www.retco.fi

HITSAUSALAN AMMATTILAISILLE

**PRO
WELD**

KAIKKI HITSAUKSEEN

- ◀ Hitsausinsinööripalvelut
- ◀ Koulutus
- ◀ Hitsauspalvelut
- ◀ EWM-hitsauskoneet
- ◀ Hitsauslisäaineet ja -tarvikkeet

ew/m

ProWeld Finland Oy
Parkkilantie 1,
82200 Hammaslahti
P. 040 2144 133

Tutustu tarkemmin
yrityksemme osoitteessa
www.proweld.fi

Hitsauskoneita ja -tarvikkeita

WALLIUS, WAMETA, IMS...
Toimitukset koko Suomeen www.kailatec.fi

KAILATEC OY
KUNNOSSAPIDON TAVARATALO

Liitintie 11, 90620, Oulu, puh. 08-5572 700
Päivystys 24h puh. 044-557 2701

Hitsauskoneiden huoltoa ja -tarvikkeita

LAITEHUOLTO
TEVICO 

puh. 014 284 996, Vasarakatu 22, 40320 Jyväskylä

hitsauskonehuolto
tarvikkeet
koneet ja varusteet
koneiden validointi

www.tevico.fi
enemmän kuin huoltoliike

 **ARCTRONIC OY**

Polttolaitoksenkatu 11, 20380 Turku
Puh. 02 238 8666
www.arctronic.fi

Hitsauskonekorjaamoja

Kaikki hitsaukseen • Valtuutettu huolto

**WELD
TEC**

Laippatie 1, 00880 Helsinki
Puh. 010 778 4400
Fax 010 778 4409

www.weldtec.fi • weldtec@elisanet.fi

- myynti • huolto ja korjaus
- varaosat ja varusteet • styrox-leikkurit
- lisäaineet • sopimushuollot
- kalibrointi ja validointi
- induktiokuumentimet (Boltbuster)

LAADUKKAAT HITSAUSTARVIKKEET SUORAAN MAAHANTUOJALTA!

KAIKKI HITSAUKSEEN

- Hitsauskoneet
- Hitsauslisäaineet
- MIG-/TIG polttimet ja varaosat
- Plasmapolttimet ja varaosat
- Hitsausvarusteet



HITSAUSKONE JA -POLTIN HUOLLOT JA KORJAUKSET

- Valtuutettu huoltoliike
- Hitsauskoneiden validoinnit ja validointitodistukset
- Turvallisuustestaukset
- Vuosihuollot
- Hitsauspoltinhuolto



Suoritamme kaikenmerkisten hitsauskoneiden ja -polttimien huollot 30 vuoden kokemuksella ja takuuvarmasti!

MYYNТИ • HUOLTO • VARAOSAT
PIRKKA HITSI

Vesalantie 20, 33960 Pirkkala Puh. (03) 3141 4200
Mestarintie 2, 78200 Varkaus www.pirkkahitsi.fi

Konepajoja

TILAUSKONEPAJA

Teräsrakenteet
Polttoleikkaukset
Levy- ja hitsaustyöt
Koneistus
Koneenrakennus
Maalaus
Sertifioitunut ISO 9001, ISO 14001
laatujärjestelmät

ZETANOVA

Sepäntie 6, 51200 KANGASNIEMI
puh. 020 785 1650
vesa.knuutinen@zetanova.fi

Monenmoista konepajatyötä!

KONEPAJA 
J•MAASILTA

Haalintie 348, 25370 PERTTELI
puh. 02 728 4128 / 0400 124 928
juhani.maasilta@smail.fi

TUOTE- JA TOIMIALAHAKEMISTO

Laser- ja vesileikkausta

Uutta!
Tehokas kuitulaser käytössä

Laserleikkausta
6 työasemaa, ainevahvuudet 0-25 mm
työalueet 1500 x 3000 mm,
2000 x 6000 mm ja 2500 x 8000 mm

Vesileikkausta
3 työasemaa, ainevahvuudet 0-200 mm,
työalue 4100 x 9100 mm

Putkien leikkausta
Dmax 400 mm

Särmäystä
5 särmäyspuristinta
max särmäyspituus 6000 mm

S V L

Suomen Vesileikkaus Oy
Yritystie 1, 42700 Keuruu
puh. 0207 870 050, fax. 0207 870 051
myynti@suomenvesileikkaus.fi
www.suomenvesileikkaus.fi

NDT-tarkastuksia

NDT-Team Oy

NDT-TARKASTUKSET
PIRKANMAALTA
LAADUKKAASTI

Puh. 050 551 1235 jukka.hakala@ndtteam.fi
Puh. 050-551 1234 ari.lahti@ndtteam.fi

nondest
ndt palvelut
www.nondest.fi

Uutta: CR digitaaliradiografialaitteet,
XRF materiaalianalysointi,
tarkastustulokset on site heti!
Ota yhteyttä

044 215 3828 Kari Salli, KOKKOLA
kari.salli@nondest.fi
040 583 4425 Andrew Katanasho, OULU
andrew.katanasho@nondest.fi

Nondest Oy
Kokkola-Pietarsaari-Vaasa-Ylivieska-Oulu

NDT-tarkastuksia

TP Suomen Testauspalvelu Oy

NDT-Tarkastukset ja IWE-palvelut ammattitaidolla, luotettavasti.

Toimipisteet:
Ii: 0105812502
Oulu: 0105812503
Alavus: 0105812511
Pieksämäki: 0105812507
Koria: 0105812512

Puh: +35810 581 2500
www.suomentestauspalvelu.fi
tarmo.tuomela@suomentestauspalvelu.fi
marko.ylitalo@suomentestauspalvelu.fi

NDT-Union Oy

MODERNIA
TARKASTUSPALVELUA
www.ndt-union.com

NDT
a u r a
www.ndtaura.fi

NDT - TARKASTUKSET. LAADUNHALLINTA.
EN-ISO 9712 - henkilöpätevyyksin ISO 9001 - sertifioitu

www.ndt-tarkastus.fi

NDT Nord Oy
UT-/ RT-/ MT-/ PT-/VT-tarkastukset
+ Vaiheistettu ultraäänitarkastus (PAUT)

Varsinais-suomen alueella ja tarvittaessa koko suomessa!

0400-246555 0400-232499
toni.turkkin@ndt-tarkastus.fi jesse.jarvinen@ndt-tarkastus.fi
Sarkamaantie 17, RAISIO

NDT-tarkastuslaitteita

Laadukkaat laitteet, tarvikkeet ja kemikaalit varastostamme

NDT-TUKKU
Suomen Turvatekniikka Oy NDI-TUKKU
www.ndt-tukku.fi

Plasma- ja poltto-leikkauslaitteita

Kaikkea automaattiseen plasma- ja polttoleikkaukseen

AIRWELL OY

Puh. (03) 517 5250 • www.airwell.fi

Rautarakenteita

- Kuljetin- ja siirtolaitteita
- Teräsrakenteita

HM Steel Oy

KANKAANPÄÄ P. 02 578 7506
kari.huhtamaki@hmsteel.fi
www.hmsteel.fi

Termistä ruiskutusta

Termistä ruiskutusta

HVOF / Plasma / ARC / Liekki

Virtasen koneistamo Oy

puh. (02) 7751245 • www.virtasenkoneistamo.fi

Viistekoneita ja hitsaustarvikkeita



VIISTEKONEET JA SUOJAKAASUESTEET



oy TERÄS-LVI ab

puh. 09-2766 420 WWW.TERASLVI.FI

Hitsaustekniikka'17 –päivät

Savonlinnan paikallisosaston 40-vuotisjuhlailallinen ja SHY:n vuosikokous

6.-7.4.2017, Savonlinna

Seminaariohjelma

Torstai 6.4.2017

Paviljonki, Auditorio

09.00 Ilmoittautuminen ja aamukahvi (ala-aula)

09.30 Tervehdyssanat

-Suomen Hitsausteknillisen Yhdistyksen pj, Prof Jukka Kömi, Oulun yliopisto

-Savonlinnan paikallisosaston pj, IWE Kai Kasanen, Savonlinna Works Oy

-Savonlinnan kaupunginjohtaja Janne Laine

10.00 Digitalisaatio hitsauksessa

Welding Engineer Niki Lankila, Kemppe Oy

10.40 Laser/laserhybridin käyttö konepajateollisuudessa

TkT, IWE Anna Fellman, Weldcon

11.30

Lounas

12.30 Hitsausmenetelmäkokeen rikkova testaus - Käytännön kokemuksia

testauksesta ja vinkkejä hitsausmenetelmäkokeen toteutukseen

Tarkastuspäällikkö Teppo Vihervä, DEKRA Industrial Oy

13.15 Laaduntuotto yrityksissä

Head of Procurement and Quality John Lahtinen, Savonlinna Works Oy

14.00

Kahvitauko

14.15 IoT-visioita hitsaavassa teollisuudessa

Development Manager Wayna Moncada, Andritz Oy

15.00 Metallien 3D-tulostus

Prof Veli Kujanpää, VTT

15.30 TPS/i koneen tuoteuuteuksia ja liitettävyyden teolliseen internettiin - dokumentaattioratkaisut

Samuel Karjalainen, Pronius Oy

16.00 Ruostumattoman teräksen ja sellulaitteiden putkistojen hitsaus

IWE, Iiro Nurminen, SPStainless Oy

16.30 Päätössanat

Toiminnanjohtaja Jouko Lassila, Suomen Hitsausteknillinen Yhdistys

Muutokset ohjelmassa mahdollisia.



SHY:n vuosikokous

Torstai 6.4.2017

klo 17.00

SHY ry:n sääntömääräinen vuosikokous.

Kokous on kaikille henkilöjäsenille ja yritys/yhteisöjäsenien edustajille avoin.

Savonlinnan paikallisosaston 40-vuotisjuhlailallinen

Torstai 6.4.2017

klo 19.30

Kuninkaansali, Olavinlinna

Yritysvierailut

Perjantai 7.4.2017

klo 9.00 – 13.00

SPstainless Oy (www.spstainless.fi) ja Savonlinna Works Oy (www.andritz.com), Savonlinna

Riitek Oy ja Joros Oy (www.joros.fi), Punkaharju

Yhteiskuljetus lähtee klo 9.00 Sokos Hotel Seurahuoneelta.

Hinnat

Seminaari, iltatilaisuus ja yritysvierailu 195 €

Sis. seminaariosallistumisen ohjelmanmukaisine tarjoiluineen, illallisen ja yritysvierailun kuljetuksineen.

Seminaaripäivä 100 €

Sis. seminaariosallistumisen ohjelmanmukaisine tarjoiluineen.

Illallinen 95 €

Ilmoittautuminen

Sitovat ilmoittautumiset 24.3.2017 mennessä SHY:n toimistoon kotisivujen (www.hitsaus.net)

Lomakkeen kautta tai sähköpostitse: angelica.emeleus@shy.inet.fi.

Ilmoittautuessasi muun kuin sähköisen ilmoittautumislomakkeen kautta muistathan ilmoittaa mihin tilaisuuksiin osallistut (seminaari, vuosikokous, iltatilaisuus ja yritysvierailut), laskutustiedot (myös avec) ja mahdollisen erityisruokavalion.

Lisätietoja

Savonlinnan paikallisosasto

Pj Kai Kasanen, puh. 040 860 6058 tai kai.kasanen@andritz.com.

Siht. Jukka Sorvali, puh. 040 860 5769 tai jukka.sorvali@andritz.com

SHY:n toimisto

Angelica Emeléus, puh (09) 773 2199 tai angelica.emeleus@shy.inet.fi



**Suomen Hitsausteknillinen Yhdistys
SAVONLINNAN PAIKALLISOSASTO**

Näyttely

Mikäli yrityksesi on kiinnostunut osallistumaan seminaarin ohessa järjestettävään näyttelyyn, ota yhteys Kai Kasaseen, puh. 040 860 6058 tai kai.kasanen@andritz.com.

Muistamiset

Savonlinnan paikallisosasto FI82 5650 8340 0005 17, OKOYFIHH

Majoitus

Original Sokos Hotel Seurahuoneelta, Kauppatori 4-6, 57130 Savonlinna, on varattu osallistujille majoituskiintiö. Huonevaraukset tulee tehdä 16.3.2017 mennessä tunnuksella "BHITSAUS". Kukin osallistuja varaa majoituksensa itse. Huonehinnat: 90 € 1hh/vrk Standard ja 100 € 2hh/vrk Standard Huonehintaan sisältyy aamiainen ja hotellin asukassauna. Hotellihuone on saatavilla tulopäivänä klo 15 alkaen ja huoneen luovutus on lähtöpäivänä klo 12 mennessä. Varaukset ja tiedustelut suoraan hotellista puh. 029-123 9602 (0,0835€/min + 0,1669€/puhelu) tai email savonlinna@sokoshotels.fi Pyydämme huomioimaan, ettei varauksia voi tehdä nettivarausjärjestelmän kautta. Suosittelemme varaamaan autoa paikalla hotellin parkkihallista ennakkoon 15 €/yö. Paikkoja on rajoitetusti.

Tapahtumapaikat

Original Sokos Hotel Seurahuone
Kauppatori 4-6, 57130 Savonlinna
www.sokoshotels.fi

Ravintola Paviljonki
Rajalahdenkatu 4, 57200 Savonlinna
www.ravintolapaviljonki.fi

Olavinlinna
(Linnankatu 7, 57130 Savonlinna)
www.kansallismuseo.fi/fi/olavinlinna



REFRESH YOUR EXPERTISE_



AJANKOHTAISET OHJELMAT_

- » **IWE/IWT 32**
9 950 € + alv, 6.3.-15.12.2017, 50 pv, Lappeenranta
- » **Hitsauskoordinoijien täydennyskoulutuspäivät 2017**
650 € + alv, 9.-10.3.2017, Lappeenranta
- » **Täydennyskoulutusohjelma hitsausinsinööreille (IWE)**
Alkaa huhtikuussa 2017, Lappeenranta
- » **Lasertyöstön 30-vuotisjuhlaseminaari**
650 € + alv, 17.-18.5.2017, Lappeenranta

Lisätietoja: lut.fi/executive

IWE Erkki Veijalainen
erkki.veijalainen@lut.fi
0400 652 170

IWE Antti Martikainen
antti.k.martikainen@lut.fi
050 342 7317

 **LUT**
Lappeenranta
University of Technology