



Olavi Piha

## Valun käytön seminaari 2016

Vuoden 2016 seminaari pidettiin perinteen mukaisesti maaliskuun viimeisenä torstaina ja perjantaina eli 31.3.–1.4.2016 Hotelli Rosendahlissa, jonne saapui kauniin ilman myötä ennätysmäisesti 138 henkilöä. Tällaisiin osallistujamääriin on edellisen kerran päästy teollisuuden korkeasuhdanteen aikana vuonna 2007.

Seminaarin 7-henkinen suunnittelutoimikunta oli valinnut teemaksi ”Kehittyvät materiaalit ja valmistusmenetelmät”. Teeman aiheet ovat luonnollisesti valmistavan teollisuutemme ja tutkimuskentän kasvavan kiinnostuksen kohteena. Suunnittelutoimikunta oli saanut paikalle alan parhaat luennoitsijat, mitä osallistujamäärän kasvukin hyvin todistaa. Tämän totesi myös Valutuoteteollisuusyhdistyksen puheenjohtaja Eero Pellikka käyttäessään seminaarin ensimmäisen puheenvuoron ja toivottaessaan kaikki osallistujat tervetulleeksi seminaariin.

Vakiintuneen ja hyväksi havaitun konseptin mukaan professori Juhani Orkas esitteli vuoden 2015 valimoteollisuutemme tuotantoluvut. Suomen valutuotanto oli viime vuonna 65 250 tonnia, joka on 7 % vähemmän kuin edellisenä vuonna. Tästä aiheesta julkaistaan erillinen artikkeli seuraavassa Valimoviestissä.

Keynote-puheenvuoron käytti Member of the Executive Board Gerhard Klügge, Federal Association of the German Foundry Industry aiheenaan ”Current status and perspectives of the German Foundry Industry”. Perusteellisen luennon aikana yleisön katsottavaksi vyöryi runsas määrä Saksan ja maailman valimoteollisuuden tunnuslukuja, tilastoja ja ennusteita. Tämän luennon aiheeseen palataan tulevissa Valimoviesteissä otsikolla ”Maailman valimoteollisuus”. Puolentoista päivän mittaisessa seminaarissa esiintyi kaikkiaan yli kymmenen luennoitsijaa. Yleisö oli aktiivisesti mukana, sillä esitelmien jälkeen viestiseinälle ilmestyi vähintään kolme kiperää jatkokysymystä. Viestiseinä on selvästi ottanut paikkansa aktiivisena keskustelufoorumina luennoitsijan ja yleisön välillä.

Valutuoteteollisuusyhdistys VALTY palkitsee kontaktitilaisuudessa ansiokkaasti suomalaisia valuja käyttäneen yrityksen Vuoden valunkäyttäjätodistuksella. Tänä vuonna todistus meni John Deerelle. Illan hiljalleen Pyynikillä pimentyessä keskustelu tuttuja ja uusien tuttuja kanssa jatkui aktiivisesti aina valomerkkiin saakka.

## SEMINAARIN AVAUSPUHEENVUORO

Valutuoteteollisuusyhdistyksen puheenjohtajan roolissa seminaarin avauksen suoritti Alteams Oy:n tehdaspäällikkö diplomi-insinööri Eero Pellikka. Hän toivotti osallistujat tervetulleeksi seminaariin ja lupasi, että luennot sisältävät runsaasti käytännön esimerkkejä valuratkaisujen tuomista eduista. Tässä artikkelissa esitetään luentojen keskeisin anti.

## PRONSSISEOSTEN TULEVAISUUS

Laatu- ja kehityspäällikkö Ilari Kinnunen aloitti puheenvuoronsa esittelemällä Johnson Metall Groupia. Yritys työllistää 246 henkilöä, ja sen liikevaihto on noin 40 miljoonaa euroa (2015). Pääkonttori, valimo ja konepaja sijaitsevat Örebrossa Ruotsissa. Toinen valimo ja myös konepaja sijaitsevat Pirkkalassa, ja työntekijöitä on 85. Valimot keskittyvät ensisijaisesti pronssin valamiseen, mutta tuotteita valetaan jonkin verran myös messingistä. Yrityksen päätuotteet ovat liukulaakerit ja -levyt.

Pirkkalassa koneistettujen tuotteiden osuus on merkittävä, 85 % tuotannosta. Lisäksi Johnson Metall valmistaa ISO-standardien mukaisia vakiolaakereita, joita myydään suoraan varastosta. Valimoiden valumenetelmät ovat jatkuva-valu vaakavaluna ja keskipakovalu pysty- ja vaakamuotiin tehtynä, jotka on esitetty kuvassa 3.

### Eri seokset eri kohteisiin

Punametalli (kupari-sinkki-tina-lyijyseos,  $\text{CuZn5Sn5Pb5}$ ), jossa kuparin osuus on 85 %, on hyvä koneenrakennuksen perusmetalli, jota saa suoraan yrityksen varastosta. Punametallilla on erinomaiset liukuominaisuudet. Lyijypitoisuutensa vuoksi se on hyvin lastuttava, sillä lyijy muodostuu rakenteeseen erkaumina, jotka toimivat tehokkaina lastun katkojina. Punametalli on sinkkipitoisuutensa vuoksi hieman edullisempaa kuin tinapronssi, joka on taas murtolujuudeltaan ja kovuudeltaan parempaa. Ehkä tästä syystä punametallin käyttö onkin vähentynyt.

Tinapronssien yleisin laatu on  $\text{CuSn12}$ , ja sillä on punametallia parempi lujuus. Myös venymältään materiaali on varsin hyvää, eli se on suhteellisen lujaa ja sitkeää. Sitkeys ei kuitenkaan ole koneistusvaiheessa toivottu ominaisuus, ja varsinkin teräspuolelta tulleet koneistajat sanovat materiaalista sen olevan kuin ”räkää”. Tinapronssi ei muokaudu myöskään kovin hyvin reunapuristukseen, mutta hyvän voitelukalvon muodostajana se on erinomainen materiaali.

Lyijytinapronssit ovat mekaanisilta ominaisuuksiltaan huomattavasti pehmeämpiä kuin tinapronssit, mutta pronssiseoksista ne sopivat parhaiten vesivoiteluun. Lyijytinapronssihin siirrytään silloin, kun tarvitaan reunapuristuskestävyyttä tai hyviä kuivavoiteluominaisuuksia. Lyijy toimii aineessa kuivavoiteluaineena.

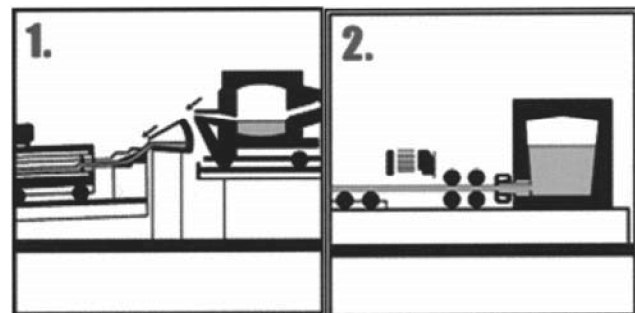
Tinapronssien ohella toinen paljon käytetty materiaaliyhmä on alumiinipronssit. Alumiinipronssit ovat huomatta-



Kuva 1. Rosendahlin kongressisalin kaikki tuolit tulivat tarkkaan käytetyksi, kun ennätysmäiset 138 osallistujaa perehtyivät puolentoista vuorokauden ajan valuteknologian uusiin saavutuksiin. Samalla suunnittelijoiden tiedot päivitettiin valukappaleiden mahdollisuuksista erilaisissa käyttökohteissa.



Kuva 2. Johnson Metallin tyypillisiä valmistamia tuotteita ovat konepajateollisuuden komponentit, joissa tarvitaan kahden metallipinnan välistä liukumista ja siihen pronssi soveltuu oivallisesti. Valtaosa tuotteista valmistetaan asiakkaan piirustusten mukaan, ja ne ovat asiakkaan immateriaalioikeuksien alaisia tuotteita.



Kuva 3. Vasemmanpuoleinen kuva esittää keskipakovalu pysty- ja vaakamuotiin, jossa muotin vaihtaminen on nopeampaa kuin jatkuva-avalussa. Kuva 2 esittää jatkuva-avalua vaakavaluna, joka mahdollistaa suuren kappalevolyymien halkaisijaltaan pienemmille kappaleille.

vasti suuremman lujuuden seoksia verrattuna esimerkiksi tinapronsseihin, mutta vastaavasti niiden venymäarvot ovat pienemmät. Alumiinipronseilla on huonommat liukuominaisuudet, minkä vuoksi kohteessa on käytettävä yleensä pakkovoitelua. Alumiinipronssin koneistaminen onkin tarkkuutta vaativa toimenpide, sillä korkean myötölujuuden vuoksi koneistuksen jälkeiset muodonmuutokset ovat mahdollisia.

### Seosstandardit

Pronssiseosten seosstandardeja on muutettu vuosien saatossa, mutta seosstandardeja ei ole välttämättä päivitetty piirustuksiin. Tämän vuoksi valimoiden käyttämät seosstandardit eivät vastaa täysin piirustuksiin merkittyjä seoksia. Eroja on esimerkiksi epäpuhtauspitoisuuksissa sekä mekaanisissa ominaisuuksissa. Valimolla ei useinkaan ole tiedossa suunnittelijan reunaehtoja, kuten vaadittavia mekaanisia ominaisuuksia, eikä valimo pysty tällaisissa tapauksissa ottamaan kantaa seosten vastaavuuteen. Näin seoksen kelpaavuus jää asiakkaan harkinnan varaan. Esimerkiksi tinapronssituotteissa hyvin yleinen Tp12-merkintä viittaa standardiin SFS 2213:1977, joka on kumottu kauan aikaa sitten, mutta merkintä on jäänyt elämään ammattislangiin ja tarkoittaa CuSn12:ta.

Piirustuksissa viitataan aineisiin myös valumenetelmän lisämerkinnällä, esimerkiksi CuAl10Fe5Ni5 - C - GZ. Viimeisenä oleva GZ tarkoittaa keskipakovalumenetelmää, mutta suunnittelijalla on harvoin tietoa valimoiden keskipakovalukoneiden minimi- ja maksimihalkaisijoista. Lisäksi joissakin valimoissa kappaleiden valuissa ei pystytä käyttämään keskipakovalumenetelmää. Koska keskipakovalun ja jatkuvavalun materiaaliominaisuudet eivät merkittävästi poikkea toisistaan, valimon kannalta olisikin oleellisempaa tietää materiaalin lujuuden minimivaatimus, jolloin se voisi itse valita tuotteelle sopivan valmistustekniikan.

### Alumiinipronssien tulevaisuus

Viime aikoina alumiinipronssin käyttö on lisääntynyt verrattuna muiden pronssiseosten käyttöön. Tähän on varmasti vaikuttanut sekä alumiinipronssin suuri lujuus ja samalla erittäin pieni lyijypitoisuus, jota rajoittavat REACH- ja RoHS II -direktiivit sekä kansalliset lyijyn käyttöä koskevat asetukset. Alumiinipronssin käyttöä materiaalina on kasvattanut myös se, että pakkovoitelu alkaa olla liukulaakereissa itsestään selvyys. Alumiinipronssit ja etenkin tarkasti tiettyyn käyttökohteeseen suunnitellut erikoisalumiinipronssit parantavat myös laakerien käyttöikä, joten niiden käyttö todennäköisesti lisääntyy edelleen.

## HYVIN LÄMPÖÄ JOHTAVIEN ALUMIINISEOSTEN KEHITTÄMISESTÄ

### Lämpö on elektroniikan vihollinen

Alteams Groupin kehityspäällikkö Esa Suikkanen totesi alkuun, että alumiini on johtava valumateriaali, ja sillä on myös hyvät lämmönsiirto-ominaisuudet. Alteamsin asiak-



Kuva 4. Kehityspäällikkö Esa Suikkanen nauratti seminaariyleisöä toteamalla, että nimenomaan alumiini on "se johtava valumateriaali".

kaista monet ovat tekemisissä elektroniikan kanssa, joten lämpö ja lämmönjohtavuus ovat heille keskeisiä asioita. NASAn mukaan 90 % heidän ongelmistaan johtuu lämmön aiheuttamista ongelmista, erityisesti elektroniikan liitoksissa. Japan Space Agency NASDA toteaa, että 50 % heidän ongelmistaan johtuu lämmön aiheuttamista ongelmista juotoksissa, ja US Air Force taas ilmoittaa, että 55 % elektroniikassa ilmenevistä virheistä liittyy lämpöön. Elektroniikan komponenttien voimakas kehittyminen myös lisää lämmön tuotantoa, ja haaste kohdistuu kokoonpanojen ja komponenttien kestävyteen ja materiaalien ja konstruktioiden kykyyn siirtää lämpö pois herkillä alueilta. Hyvinkin pieni lämpötilan lasku elektroniikassa komponentissa saattaa lisätä sen elinikää ratkaisevasti.

### Lämmönjohtavuus erilaisissa alumiinivaluissa

Alteams on lähestynyt lämmön poistamisongelmaa monelta taholta. Yritys on tutkinut ja testannut mm. nestejäähdytysputkien, lämmönsiirto-putkien (heat pipes) ja erilaisten alumiiniprofilien ja inserttien liitosvalamista. Valumateriaalin kehittäminen mahdollisimman hyvin lämpöä siirtäväksi onkin tärkeää, jotta valetun alumiinin kilpailukyky säilyy.

Alumiiniseoksilla lämmönjohtavuus on 130–170 W/mK ja painevaluilla matalammalla tasolla kuin kokillivalussa. Kokilli- ja hiekkavalussa on karkeampi rae- ja erkaumarakenne hitaamman jähmettymisprosessin vuoksi. Koska valun huokoisuus on yleensä vähäistä, rakenteessa on painevaluun verrattuna vähemmän lämmön siirtymistä estäviä tekijöitä, kuten raerajoja, huokosia ja muita vastaavia esteitä. Tämä yhdessä korkean rautapitoisuuden (Fe > 0,7–1 %) ja/tai mangaanipitoisuuden kanssa ovat keskeisiä syitä siihen, että painevalu johtaa huomattavasti lämpöä kuin hiekka- ja kokillivalettu alumiini. Tätä voisi kuvata vertauksella: 400 metrin juoksussakin aitajuoksija saa hitaamman ajan kuin tavallinen juoksija, joka juoksee sileällä pinnalla.

Tulevaisuuden vaatimuksia lämmönjohtavuudelle Teollisuuden asiakkaalle valettu alumiinikomponentti on usein houkutteleva vaihtoehto, koska sillä saadaan kätevästi yhdistettyä monia toimintoja. Tässä komponentissa on kuitenkin otettava huomioon mm. lämmönsiirtokyky. Jotta alumiinipainevalu olisi asiakkaalle houkutteleva mutta myös valimolle valmistusteknisesti mahdollinen, pitäisi valetun rakenteen lämmönjohtavuus saada tasolle 160–170 W/mK. Muokattavilla alumiiniseoksilla lämmönjohtavuus on 160–220 W/mK. Vaativimmat teollisuusasiakkaat ovat esittäneet jopa arvoa 200 W/mK. Täilaisiin haasteisiin Alteams on lähtenyt vastaamaan.

### Hippunen metallien teoriaa

Metallit rakentuvat faaseista, jotka taas rakentuvat kiteistä. Kiteillä on tietty hilarakenne. Hilarakenteen taas määrää atomien rakenne. Lämpö kuten sähkökin johtuu hilarakenteessa. Lämmön johtuminen on hilarakenteen värähtelyä ja elektronien liikettä. Puhtaalla metallilla on paras johtavuus. Kun halutaan helpottaa lämmön siirtymistä metallisessa rakenteessa, pitää selvittää, poistaa tai ainakin minimoida faasi- ja hilarakenteessa olevat johtavuutta heikentävät tekijät.

Tietyt seos- ja epäpuhtausaineet ovat erityisen haitallisia lämmönjohtavuudelle. Lisäksi hilarakenteeseen tasaisesti levittynyt seosaine on haitallisempaa verrattuna siihen, että se on kerääntynyt partikkeleiksi. Erkauma on koherentti (perushilan rakenteesta irrallaan), jolloin sen hilaan luomat jännitystilat minimoituvat. Valun jälkeinen kappaleen sammutus johtaa alhaiseen lämmönjohtavuuteen, koska alkuaaineet ovat ylikylläisenä kiinteässä liuoksessa. Hehkutettaessa kappaleita korkeammassa lämpötilassa alkuaineita erkautuu kiinteästä liuoksesta. Erkautumisaste riippuu diffuusionopeudesta ja ylikylläisyysasteesta kuten myös käytettävästä hehkutuslämpötilasta.

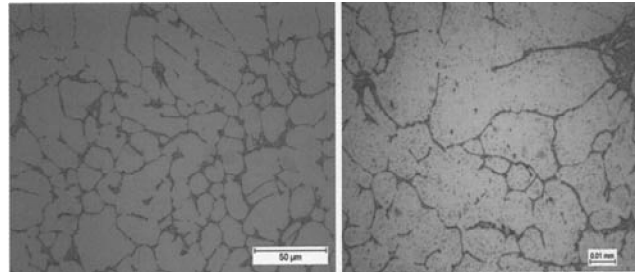
### Miten siis pitäisi toimia?

Edellisen mukaan minimoidaan tietyt aineet (Mn, Cr, Ti, V jne.) ja kerätään hankalat aineet pois hilasta erkaumiksi. Tällöin painealuoprosessin kannalta tärkeät aineet (Si, Fe, Mn jne.) optimoidaan tai korvataan muilla vähemmän haitallisilla aineilla. Tässä on kuitenkin otettava huomioon keskeiset valuminaisuudet eli juoksevuus, kuumarepeilyn kestävyys ja metallin tarttuminen teräsmuottiin painealuussa.

Hankalien aineiden kerääminen ja niiden määrän optimointi tapahtuu lämpökäsittelyllä. Painealuussa perinteinen T6-käsittely on usein vaativa prosessi, mutta tässä riittääkin T5-käsittely eli valukappale kuumennetaan valun jälkeen sopivaan lämpötilaan tietyksi ajaksi. Oikean lämpökäsittelyn avulla seosaineita siirtyy kiinteästä liuoksesta erkaumiksi, ja näin saadaan enemmän vapaata alumiinirakennetta, jossa lämpö siirtyy nopeammin.

### Saavutettuja tuloksia lämmönsiirrossa

Alteams on löytänyt ja kehittänyt omiin tuotantoprosesseihinsa sopivia alumiiniseosten ja lämpökäsittelyn yhdistelmiä, joilla on saavutettu asiakasvaatimusten taso 170



Kuva 5. Mikrorakenteen erot käyvät ilmi oheisista valokuvista. Seos AlSi3(Fe) on vasemmassa kuvassa valutilainen. Seos AlSi(Fe) on oikeanpuoleisessa valokuvassa lämpökäsittelyssä tilassa. Lämpökäsittelyssä tilassa nähdään erkaumia alumiinimatriisissa.

W/mK. Tietyissä konstruktioissa ja komponenttirakenteissa voidaan saavuttaa myös 180 W/mK:n taso. Yrityksessä on voitu tarjota valutuote, jossa vaatimuksena on peräti 190–200 W/mK. Lämmönjohtavuus on keskeinen tutkimuskohde alumiinivalimoissa eri puolilla maailmaa ja niin myös Suomessa. Aalto-yliopistossa tutkimusta on tehnyt myös TkT Veijo Rauta, jonka äskettäin valmistuneen väitöstyön otsikkona on ”On the effect of heat and metallurgical treatments on the thermal conductivity of cast aluminium alloys”.

### KULUTUKSEN KESTÄVÄT VALUMATERIAALIT

Peiron Oy:n laatu päällikkönä toimiva diplomi-insinööri Markku Eljaala aloitti luentonsa toteamalla, että kulumisen on erittäin monimutkainen ilmiö ja erilaisia kulumismuotoja ja syitä kulumiseen on paljon. Tyypillisiä kulumismuotoja ovat mm. abrasiivinen, adhesiivinen ja erilaiset eroosio ja korroosiokulumisen muodot. Hieman vähemmän tunnettuja kulumismuotoja ovat taas hilseily (spalling) ja värähtelykuluminen (fretting).

Tästä johtuen oikean materiaalin valitseminen kulumiskestävään sovellukseen ei aina ole helppoa. Materiaalivalinnan yhteydessä tulisi tunnistaa, että mikä kulumisprosessi ja -ympäristö ovat kyseessä. Materiaalivalinnassa tulisi myös huomioida tuotteen valmistuksessa tarvittavat tuotantovaiheet. Tuotteelta vaadittava mittatarkkuus ja sen asettamat mahdolliset koneistusvaiheet ja -määrät vaikuttavat huomattavasti materiaalivalintaa ja valmistuskustannuksiin, sillä parhaiten kulumista kestävä materiaalit ovat pääsääntöisesti vaikeasti koneistettavissa

Kulumisen kestävä valumateriaalit voidaan jakaa karkeasti kulumisenkestäviin teräksiin ja rautoihin. Teräkset voidaan jakaa taas karkaistaviin ja mangaaniteräksiin. Raudat jakautuvat koviin rautoihin ja kromirautoihin. Ohessa pieni otos kulutuksen kestävästä valumateriaaleista:

### Valetut nuorrutusteräket

Nuorrutusteräket ovat hiilellä ja karkenevuutta parantavilla seosaineilla (Cr, Mo, Ni) seostettuja teräksiä. Hiilipitoisuus vaihtelee tyypillisesti välillä 0.2 – 0.5 %, kromipitoisuuden ollen välillä 1 – 2 %. Nuorrutusteräksiä käytetään kulumisenkestävissä sovelluksissa karkaistuina nor-

maalin nuorrutuksen sijaan. Mikrorakenteessa oleva martensiitti antaa teräkselle sen kovuuden ja kulumiskestävyyden. Mikä tarkoittaakin sitä, että nuorrutusteräokset ovat kulumiskestävydeltään vain varsin kohtuullisia. Nuorrutusteräoksen kovuus lisääntyy hiilipitoisuuden kasvassa ja sitkeyttä voidaan säätää päästöllä. Nuorrutusteräosten kovuus vaihtelee välillä 45 – 55 HRC riippuen seostuksesta ja lämpökäsittelystä. Nuorrutusteräksiä käytetään siellä missä valukomponentilta vaaditaan suurta mekaanista lujuutta yhdistyneenä parempaan kulumiskestävyyteen. Kyseessä on tavallaan valimon vastine hardox®-levylle. Nuorrutusterästen koneistettavuus ennen karkaisua on erittäin hyvä ja karkaisun jälkeenkin vielä varsin kohtuullinen.

### **Valetut työkaluteräokset**

Työkaluteräokset ovat hiilellä ja karkenevuutta parantavilla seosaineilla (Cr, Mo, V) seostettuja teräksiä. Hiilipitoisuus on normaalisti välillä 0,5 – 1,5 %. Korkeamman hiilipitoisuuden johdosta karkaistut työkaluteräokset ovat nuorrutusteräksiä kovempia. Lisäksi muut seosaineet muodostavat rakenteeseen jonkin verran hienojakoisia karbideja, joilla voi olla hieman kulumiskestävyyttä parantava vaikutus. Työkaluteräksillä on mahdollista saavuttaa optimaalinen lujuuden, sitkeyden ja kulumiskestävyyden yhdistelmä. Työkaluterästen kovuudet vaihtelevat tyypillisesti välillä 55 – 65 HRC. Suuresta kovuudestaan huolimatta työkaluteräokset ovat kulumiskestävydeltään kuitenkin hieman kohtuullista parempia, etenkin jos kyseessä on abrasiivinen kuluminen. Työkaluterästen tärkein valintakriteeri kulumiskestävyyden lisäksi on niiden suuri lujuus ja kohtuullinen sitkeys.

### **Mangaaniteräokset**

Valetut mangaaniteräokset ovat runsaasti mangaanilla ja hiilellä seostettuja teräksiä. Mangaanipitoisuus vaihtelee välillä 12 – 20 % ja hiilipitoisuus välillä 1 – 2 %. Mangaaniseostus stabiloi mikrorakenteen metastabiiliksi austeniitiksi ja hiilipitoisuus antaa kovuutta ja kulumiskestävyyttä muokkauslujittumisessa syntyvälle mikrorakenteelle. Mangaaniteräs tarvitsee voimakkaita iskuja ja/tai riittävän nopeaa muokkaantumista, jotta mikrorakenne muokkauslujittuu. Iskumaisen kuormituksen alla rakenteen pinnasta muokkauslujittuu noin 3- 8 mm kerros. Muokkauslujittunut kerros on kovuudeltaan luokkaa 550 HB ja muokkauslujittamattoman materiaalin kovuus on noin 220 HB. Tässä mielessä mangaaniteräs on kulumiskestävydeltään karkaistujen nuorrutusterästen luokkaa. Mangaaniteräksen etu on kuitenkin siinä, että vain sen muokkauslujittunut pintakerros on kova ja sisäosien materiaali on pehmeää ja sitkeää. Tämä takia mangaaniteräs soveltuu erittäin hyvin kuluttaviin kohteisiin, joissa esiintyy voimakkaita iskuja kuten kivenmurskaimissa ja kaivinkoneiden kauhojen kynsissä.

### **Kovat pallografiitit**

Vaikka pallografiitteja ei varsinaisesti pidetä kulutuksen kestävinä materiaaleina, niin kaikkein kovimmat perliittiset laadut, ADI ja karkaistu pallografiitti soveltuvat kulutuksen kestäviin sovelluksiin. Kovimpien perliittisten

laatujen kovuudet ovat 300 – 340 HB:n luokkaa, jolloin niillä voidaan sanoa olevan jonkin verran kulumiskestävyyttä. Kovuutta enemmän vaikuttaa kuitenkin se, että näiden rautalaatujen mikrorakenne on täysin perliittinen, jolloin perliittissä olevat sementtiittilamellit tuovat rakenteeseen kulumiskestävyyttä riippuen kulumisprosessista. Perliittisten pallografiittien työstettävyys on erinomainen. Ausferriittisten ADI rautojen kovuudet ovat välillä 300 – 380 HB. Kohtuullisen kovuutensa lisäksi ADI raudat ovat muokkauslujittuvia, mikä lisää niiden kulumiskestävyyttä sopivissa olosuhteissa. Lisäksi kaikki valuraudat ovat karkaistavissa, jolloin niiden kulumiskestävyyden vastaa karkaistuja nuorrutusteräksiä.

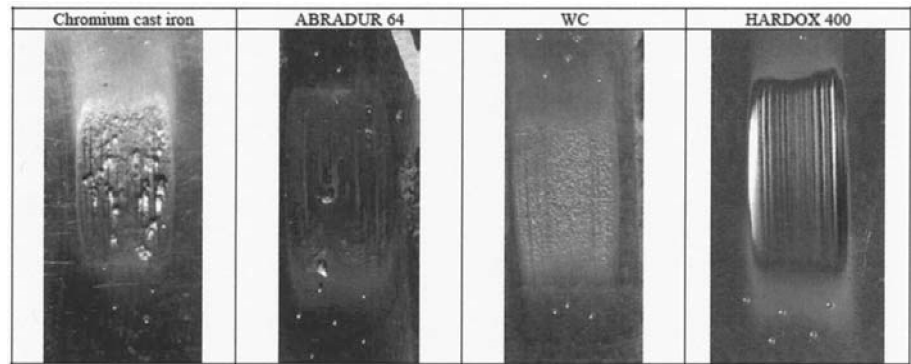
### **Valkoinen valurauta**

Valkoisella valuraudalla tarkoitetaan rautaa, jonka mikrorakenteessa ei esiinny vapaata grafiittia (grafiitti suomuja tai palloja). Kyseessä on valkoiseksi jähmettynyt rauta, jonka nimitys tulee siitä, että raudan murtopinta on hopeisen kiiltävä eikä mattaharmaa kuten muilla raudoilla tyypillisesti. Sopivasti seostamalla ja riittävän nopeasti jäädyttämällä raudassa oleva hiili saadaan jäämään rakenteeseen rautakarbidiksi (Fe<sub>3</sub>C) ja grafiittia ei pääse muodostumaan. Valkoisia valurautoja seostetaan hieman rautakarbidin muodostumista edistävillä ja niitä stabiloivilla seosaineilla kuten kromilla. Sopivalla seostuksella rauta saadaan valkoiseksi hieman hitaammillakin jäähtymisnopeuksilla. Valkoisen valuraudan kulumiskestävyyden erinomainen etenkin voimakkaassa abrasiivisessa kulumisessa, jossa ei esiinny voimakkaita iskuja. Tyypillisiä käyttösovelluksia ovat erilaiset abrasiivisten materiaalien sekoittimet ja lietepumput. Valkoisten valurautojen kovuus on tyypillisesti välillä 50 – 60 HRC.

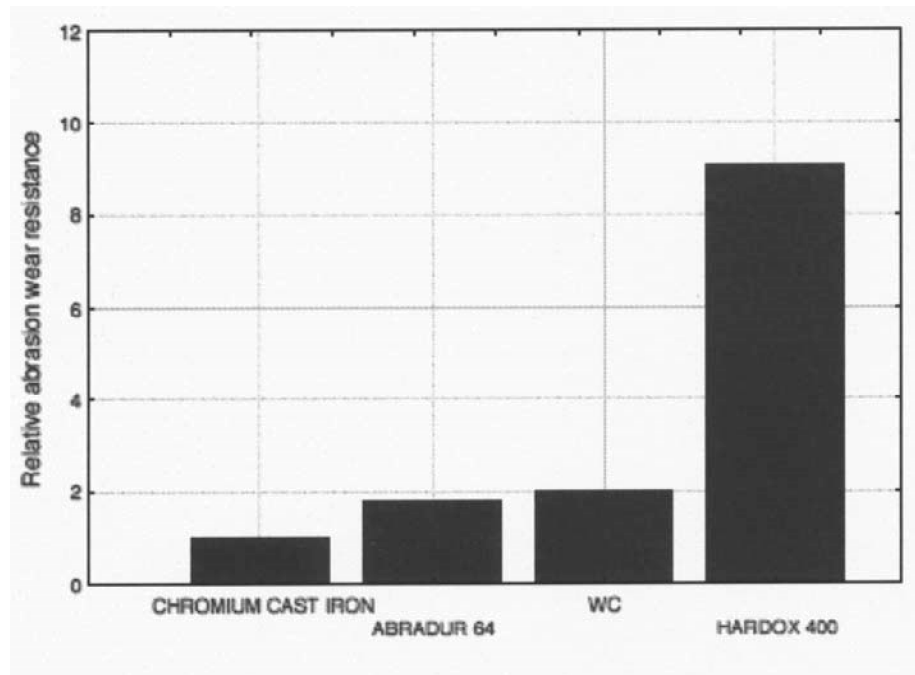
### **Kromirauta**

Kromiraudat ovat runsaalla kromilla (Cr 15 – 30 %) ja hiilellä (C 1,8 – 3,5 %) seostettuja valkoisia valurautoja. Runsaan kromiseostuksen johdosta hiili muodostaa kromikarbideja sementtiin sijasta. Kromikarbidit ovat rautakarbideja kovempia, minkä johdosta kromiraudat ovat kulutuksen kestävydeltään jonkin verran valkoisia valurautoja parempia etenkin abrasiivisessa kulutuksessa. Kromiseostus parantaa myös jonkin verran kromiraudan korroosion ja kuumahilseilyn kestävyyttä. Kromirautojen kovuudet ovat välillä 55 – 65 HRC. Kromirautojen koneistettavuus on heikko, mutta ne ovat pehmeäksi hehkuettavissa, jolloin niiden työstettävyys helpottuu huomattavasti. Tyypillisimpiä käyttösovelluksia ovat erilaisten sekoittimien kynnet ja seinälevyt, murskainten osat, kuumalmyllyjen vuoraukset ja abrasiivisten lietteiden pumput. Kromiraudat ovat hinta kulumiskestävyyden suhteeltaan kulumisenkestävien materiaalien parhaimmistoa. Ainoastaan pulverimetallurgisten tuotteiden kulumiskestävyyden parempaa, mutta hinnoiltaan ne ovat moninkertaisia. Erilaisten kulumisenkestävien materiaalien kestävyttä on vertailtu kuvissa 6 ja 7. Kromiraudan hyvän kulumiskestävyyden haittapuolena on vaikea työstettävyys ja lähes olematon sitkeys.

Kuva 6. Kuvissa näkyy kumipyöräabraasiokokeessa kulutettujen koepalojen kulutuspinnoja. Aineet vasemmalta oikealle ovat kromirautavalu, kromiraudalla pinnoitettu levy, kovametalli (wolframkarbidi) ja hardox-levy.



Kuva 7. Eri materiaalien suhteellinen kulumiskestävyys. Kuva artikkelista: Comparison of abrasion resistance of selected constructional materials, M. Adamiak, J. Gorka, T. Kik, Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering. Volume 37, Issue 2, December 2009.



## TOISEN SUKUPOLVEN PALLOGRAFIITTIVALURAUTA YDINJÄTTEEN LOPPUSIJOITUKSESSA

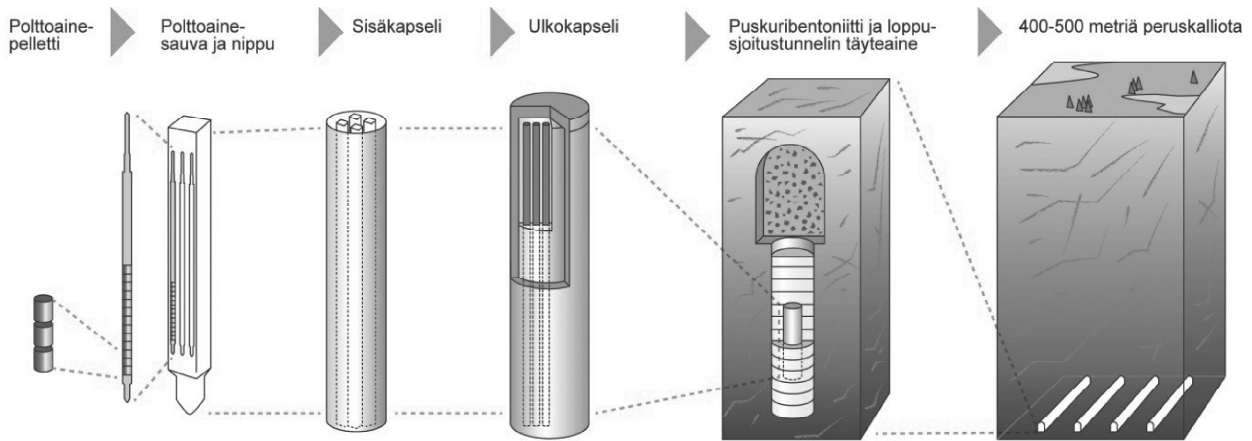
Posiva Oy:tä esitteli ohjelmapäällikkö Hanna Tuhkanen. Yritys on perustettu vuonna 1995, ja sen toimialana on omistajien käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoitus ja muut ydinjätehuollon asiantuntijatehtävät. Omistajia ovat Teollisuuden Voima Oyj sekä Fortum Power and Heat Oy. Yrityksen henkilöstö on noin 90 (2015) ja liikevaihto 66,2 M€ (2014).

Kun ydinpolttoainetta on käytetty reaktorissa suunnitellun ajan, varastoidaan käytetyt polttoaineput voimalaitoksilla sijaitseviin reaktorialtaisiin ja muutaman vuoden kuluttua ne siirretään käytetyn polttoaineen välivarastoihin (KPA-varasto). Suomessa on tehty vuonna 2001 periaatepäätös käytetyn polttoaineen geologisesta loppusijoittamisesta, ja paikaksi on tuolloin valittu Eurajoen Olkiluoto. Posiva (ja sitä myötä Suomi valtiona!) on ensimmäinen yritys maailmassa, joka on saanut luvan aloittaa kapse-

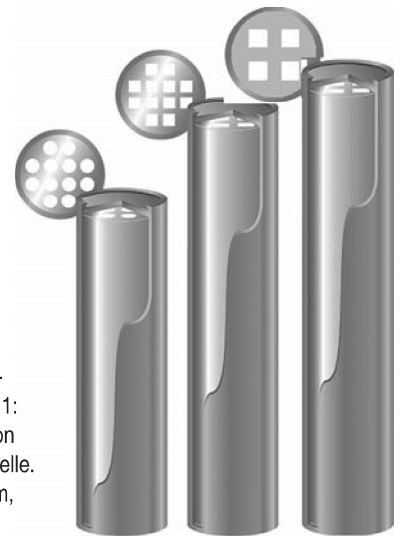
lointi- ja loppusijoituslaitoksen rakentamisen. Loppusijoituskonseptin pitkäaikainen tutkimus- ja kehitystyö sekä kapselointi- ja loppusijoituslaitoksen suunnittelutyö johti lopulta siihen, että valtioneuvosto myönsi Posivalle rakentamisluvan marraskuussa 2015. Seuraava vaihe loppusijoituksessa on loppusijoituslaitoksen ja kapselointilaitoksen rakentaminen, loppusijoituskonseptin viimeistely ja toiminnan tuotannollistaminen. Varsinainen käytetyn polttoaineen loppusijoitus on tarkoitus aloittaa 2020-luvun alkupuolella valtioneuvoston myöntämän käyttöluvan saannin jälkeen.

### Loppusijoituskonsepti

Posivan loppusijoituskonsepti (KBS-3) perustuu monies-teperiaatteeseen, jossa useat toisiaan varmentavat vapautumisesteet varmistavat pitkäaikaisturvallisuuden. Tämä loppusijoituskonsepti on kehitetty yhteistyössä ruotsalai-



Kuva 8. Loppusijoituksen moniesteperiaate, useat toisiaan varmentavat vapautumisesteet varmistavat pitkäaikaisturvallisuuden (kuva: SKB).



Kuva 9. Vasemmanpuoleisin 12 pyöreää reikää sisältävä kapseli on tarkoitettu Loviisa 1:n ja 2:n VVER-polttoaineelle. Keskimääräinen 12 neliöreikää sisältävä kapseli on tarkoitettu Olkiluoto 1:n ja 2:n BWR-polttoaineelle. Kookkain kapseli on tarkoitettu tulevan Olkiluoto 3:n EPR-polttoaineelle. Kapseleiden pituudet ovat 3,6 m, 4,8 m ja 5,2 m, kaikkien kapseleiden halkaisija on 1,05 m.

sen SKB:n kanssa. Loppusijoituksen moniesteperiaate on esitetty kuvassa 8.

### Loppusijoituskapseli

Tärkein teknisistä vapautumisesteistä on loppusijoituskapseli. Loppusijoituskapselin tehtävänä on säilyttää käytetyn polttoaineen sisältämät radionuklidit sisällään niin kauan kuin niistä voisi olla merkittävää haittaa ihmisille tai muulle elävälle luonnolle. Tämän turvallisuustoiminnon täyttäminen edellyttää kapselilta pitkäaikaista tiiveyttä, joka taataan pitkäaikaisella korroosionkestävyydellä ja mekaanisella lujuudella odotettavissa olevissa tulevaisuuden olosuhteissa. Mittojen ja muotojen puolesta loppusijoituskapselin tulee olla sellainen, että siihen tarkoitettut käytetyt polttoaineputket mahdollisesti käytön aikana hieinan muuttuneine mittoineen ja muotoineen sopivat sen sisään ja ovat helposti asennettavissa. Kapselin tulee olla suunniteltu siten, että sen sisältö pysyy kaikissa olosuhteissa alikriittisenä ja sen sisältämästä polttoaineesta syntävä jälkilämpö pääsee siirtymään pois.

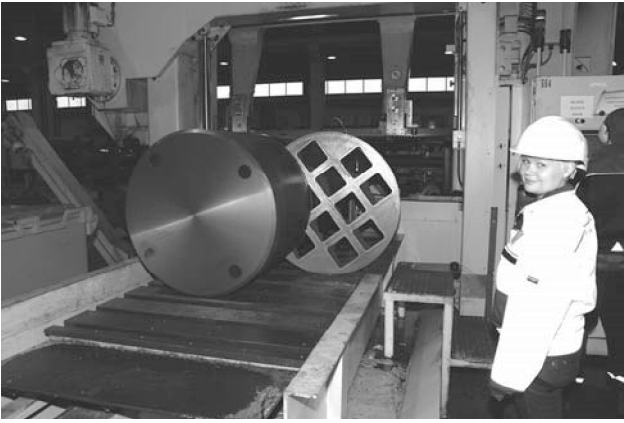
Loppusijoituskapseli muodostuu hapettomasta kuparista valmistetusta ulkokuoresta sekä pallografiittirautaisesta sisäosasta. Kuparivaippa toimii korroosiosuojana, kun taas sisäosa takaa mekaanisen lujuuden, varmentaa alikriittisyyden ja huolehtii jälkilämmön poistosta. Koska käytettyä polttoainetta on kolmea eri tyyppiä (Loviisa 1 ja 2, Olkiluoto 1 ja 2 ja Olkiluoto 3), jokaiselle polttoaine-

tyypille on myös oma kapseli. Loppusijoituskapselit ja niiden mitat on esitetty kuvassa 9.

### Sisäosa

Sisäosan referenssimateriaaliksi on valittu ferriittinen pallografiittirauta EN-GJS-400-15. Materiaali valittiin juuri hyvien mekaanisten ominaisuuksien vuoksi – lujuus on riittävä kestäämään loppusijoitusolosuhteiden kuormitukset, mutta toisaalta se on sitkeää, jolloin sen murtumismekaaniset ominaisuudet ovat hyvät. Toisaalta valitun pallografiitin valettavuus on hyvä, jolloin se soveltuu loppusijoituskapselin sisäosan materiaaliksi. Posivalla ei ole omaa valimoa, joten kaikki sisäosavalut ostetaan alihankkijoilta. Sisäosien valuissa Posiva on tehnyt yli kymmenen vuotta yhteistyötä Valmet Technologies Jyväskylän kanssa. Tällä hetkellä kehitystyö referenssimateriaaliin liittyen on keskittynyt saavuttamaan tasaiset materiaaliominaisuudet koko kappaleen matkalta. Kaikki referenssimateriaalista nykyisellä valumenetelmällä valetut täyden mittakaavan sisäosat ovat täyttäneet Posivan edellyttämät tiukat vaatimukset mekaanisten ominaisuuksien, mikrorakenteen ja kemiallisen koostumuksen osalta.

Posiva seuraa aktiivisesti valurautoihin liittyvää tutkimusta ja kehitystä. Uudet 2. sukupolven piillä liuoslujitetut ferriittiset pallografiittiraudat (SSF, HiSi) herättivät erityisesti kiinnostuksen, sillä niillä on mahdollista saavuttaa merkittävästi korkeampia lujuuksia venymien kärsimättä



Kuva 10. Täyden mittakaavan sisäosa sahausessa näytteiden irrotusta varten. Materiaalin ominaisuuksia tutkittiin sisäosan eri kohdista ominaisuuksien hajonnan selvittämiseksi.

perinteisiin valurautoihin verrattuna. SSF-pallografiittiraudan käyttö toisi lisää turvallisuusmarginaalia erityisesti pitkän aikavälin kestolle, joten Posiva halusi selvittää asiaa tarkemmin. Niinpä Posiva lähti mukaan Tekes-rahoitteisen Fimecc BSA -ohjelman NOCMA-valurautalaprojektiin, jossa selvitetään SSF-pallografiittiraudan soveltuvuutta sisäosan materiaaliksi. BSA-ohjelman puitteissa Posiva on tehnyt kaksi täyden mittakaavan sisäosan koevalua EN-GJS-500-14 SSF -pallografiittista, ja tutkimus- ja kehitystyötä materiaalin soveltuvuuden selvittämiseksi jatketaan edelleen. Materiaaliominaisuuksia pyritään edelleen parantamaan seostusta optimoimalla sekä kehittämään valuprosessia mallinnuksen avulla.

## PALLOGRAFIITTIVALURAUTOJEN KÄYTTÖ MOOTTORIKOMPONENTEISSA

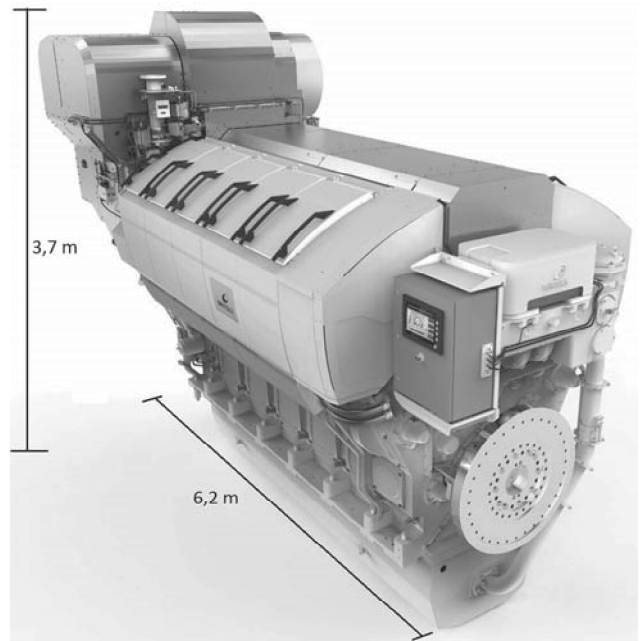
Wärtsilä Oyj on kansainvälisesti johtava edistyksellisen teknologian ja kokonaislinkaariratkaisujen toimittaja merenkulku- ja energiamarkkinoilla, totesi yhtiössä valimo- ja moottorieksperttinä toimiva diplomi-insinööri Jarkko Laine. Wärtsilän pääkonttori sijaitsee Helsingissä. Moottorien tutkimus- ja tuotekehitystoiminnot sekä kokoonpano sijaitsevat Vaasassa, jossa valmistetaan W20-, W20DF-, W32- ja W34DF- ja W34SG-moottoreita. DF on dual fuel -moottori, joka voi käyttää sekä kaasua tai dieselpolttoainetta. SG on sytytystulpalla varustettu pelkkä kaasumoottori.

### Wärtsilä 31, läpimurto tehokkuudessa

Kesällä 2015 julkaistiin uusi moottori eli Wärtsilä 31, joka on läpimurto tehokkuudessa. Wärtsilä 31 asettaakin uudet markkinastandardit tehokkuudessa, kuormituksessa, polttoainejoustavuudessa, ekologisessa jalanjäljessä sekä kunnossapidossa. Tämä moottori on myös ensimmäinen moottori, joka on saavuttanut yli 50 % hyötysuhteen. Moottori on esitetty kuvassa 11.

### Valujen koko- ja materiaalikirjo on laaja

Moottorin komponenteista suurin osa on valuja, joiden koko voi vaihdella 88 tonnista (moottorilohko) muutama kymmeneen grammaan (erilaiset kiinnitysliemet).



Kuva 11. Kuvassa on Wärtsilän uusi moottori Wärtsilä 31. Tarkempi merkintä on W81v31. Tämä Wärtsilän uusi moottorimalli on saanut Guinnessin kirjan merkinnän, että Wärtsilä 31 on dieselmoottorien sarjassa hyötysuhteeltaan maailman paras.

Valumateriaaleina käytetään pääasiassa erilaisia pallografiittilaatua (GJS 400 - GJS 700) ja suomugrafiittivalurautoja. Myös erilaiset valuteräksket ja valualumiinit ovat käytössä, mutta kuitenkin vähemmistöissä. Valetut alumiinivalukomponentit ovat yleisiä mm. kokillivaletuissa sivuluukuissa ja vastaavissa tuotteissa.

Wärtsilällä ei ole omaa in-house-valimoa, ja sen vuoksi laadukkaiden valukomponenttien hankintatoimi on erittäin keskeinen toiminto yrityksessä. Valujen hankintakapasiteetti on kymmeniä tuhansia tonneja, ja aktiivisia toimittajia on lähes 100 mukaan lukien useimmat suomalaiset rautavalimot.

### Valujen suunnittelu Wärtsilässä

Wärtsilän moottorien tyypillinen elinikä on yli 20 vuotta. Moottoriin kertyy käyttötunteja monissa installaatioissa yli 6 000 tuntia vuodessa. Tämä on keskeinen syy, miksi väsymisanalyysi on tärkeässä asemassa komponenttien suunnittelussa.

Kaikki uudet kappaleet suunnitellaan 3D-ohjelmistolla, ja koneistetusta ja valukappaleesta tehdään erilliset 3D-mallit. Valumalliin mallinnetaan työvarat EN-ISO 8062:2007 -standardin mukaisesti ja hellitykset asteina. Valukappaleelle tehdään myös alustava jäähmettymissimulointi, jolla pyritään varmistamaan, ettei kriittisille alueille synny huokosia. Jos simuloinnin mukaan niitä on vaarassa syntyä, ne voidaan poistaa tai siirtää vähemmän hankaliin paikkoihin syöttämällä tai käyttämällä kokilleja. Wärtsilä neuvottelee valamista koskeissa asioissa valmistusvastuussa olevan valimon kanssa, ja neuvottelut pyritään käymään mahdollisimman varhaisessa vaiheessa.



## Pallografiittirautojen tutkimus

Monimutkaisessa valussa perliitin osuus matriisista voi vaihdella 0:n (lujuus noin 400 MPa) ja 100 %:n (lujuus noin 600–700 MPa) välillä. Tähän laskentaan tarvittavaa materiaalidataa ei ollut saatavissa, joten vuosina 2014–2015 tehtiin laajat materiaalitestit (>500 koesauvaa), joilla saatiin kohtuullisen hyvää laskentadata pallografiittivaluraudasta aina 450 °C:n käyttölämpötiloihin asti. Kriittisissä kappaleissa simuloidaan myös syntyvä faasirakenne, jota käytetään hyväksi lujuuslaskennassa ja väsymisanalysissä. Tuotteiston kriittisimpiä komponentteja ovat sylinterikannet.

## Lujuus- ja väsymisanalyysi

Lujuus- ja väsymisanalyysi on hyvin tärkeä osa moottorin suunnittelua. Wärtsilässä on parikymmentä lujuuslaskijaa, ja lisäksi laskentapalveluja ostetaan jonkin verran. Laskijoilla on käytössään Vaasassa laskentatehoa 3012 CPU:n verran, mikä lienee suurin klusteri CSC:n ulkopuolella Suomessa.

Pallografiittivalurautojen tutkimuksen yhteydessä kehitettiin myös väsymisanalyysejä. Muun muassa varmuusker-toimista siirryttiin elinikäarvioon ja laskentaan otettiin mukaan tilastollinen analyysi.

## Laskentamenetelmät ja -mallit

Laskentamenetelmät on kehitetty yhteistyössä ohjelmistotoimittajien kanssa, ja ne ovat maailman huippuluokkaa. Paikalliset materiaaliominaisuudet on liitetty mukaan väsymislaskentaan. Laskentamalleissa otetaan huomioon muun muassa:

- elastisuus
- modifioitu Von Misesin myötökriteeri
- kinemaattinen lujittuminen
- isotrooppinen lujittuminen.

## Jäännösjännitykset

Seuraava kehitysvaihe on jäännösjännitysten simulointi ja tulosten verifiointi. Tarkoituksena on aluksi poistaa tarpeettomat jännitystenpoistohekkutukset, jolloin saadaan kustannussäästöjä ja poistetaan mahdollisia tuotannon pullonkauloja.

Myöhemmässä vaiheessa kappale voidaan suunnitella siten, että jäännösjännitykset alentavat käyttöjännityksiä, etenkin sisäänajovaiheessa. Tällä voidaan saada komponenteille lisää elinikää.

## FIMECCIN MATERIAALIOHJELMISSA VAIKUTTAVIA TULOKSIA

Spinverse Oy:ssä seniorikonsulttina toimiva TKT Markku Heino esitteli teollisuuden vaativiin käyttökohteisiin keskittynyttä materiaalitutkimusohjelmaa DEMAPP (Demanding Applications, 2009–2014). Ohjelma on onnistunut luomaan tiiviin, monialaisen osaamisyhteisön ja uudenlaisen yhteistyömallin yritysten ja tutkimusryhmien välille.

## Vakuuttavia tuloksia

Ohjelman tarvelähtöinen, kriittisiin ongelmiin (kuluminen, kitka, korrosio, väsyminen, korkeat lämpötilat) keskittynyt teollisuusyritysten ja yliopistojen tutkimusyhteistyö tuotti niin tieteellisesti kuin teollisuuden kannalta koko joukon merkittäviä tuloksia. Ne ovat konkreettisia energia- ja kustannustehokkaita ratkaisuja, joilla vahvistetaan metalli-, kone- ja cleantech-teollisuutemme kilpailukykyä. Tuotoslistaan sisältyy mm. yli 200 tieteellistä julkaisua ja teknistä raporttia, 16 väitöskirjaa, 31 diplomityötä, kymmeniä prototyyppejä, yksi uusi spin off -yritys. Tutkimuksen pohjalta on jo kehitetty useita avauksia teollisuuteen. Kaikkiaan yli 30 uutta tuotetta on kehitetty, ja kiitos kuuluu konsortion vahvalle sitoutumiselle yhteistyöhön. Yritykset myös integroivat tutkimusta omaan tuotekehitykseensä ja tuotteistamiseen.

## Esimerkkejä tuloksista

DEMAPP-ohjelman huipputuloksista mainittakoon Outokummun nikkelitön korkeakrominen ruostumaton teräs 1.4622. Se on korroosionkestoinen kustannustehokas ferriittinen teräs, jonka laajaan sovelluskenttään kuuluvat niin rakennus- ja autoteollisuus kuin myös keittiölaitteet, ruoanlaittovälineet ja kattilat.

Toinen esimerkki merkittävästä uusien terästen kehityksestä on SSAB Europan ultralujien (Optim), kulutus- (Raex) sekä suojausterästen (Ramor) tuoteperheiden laajennukset. DEMAPP-tutkimustulosten pohjalta SSAB on jo kehittänyt toistakymmentä uutta tuotetta. Tuotteet mahdollistavat ohutseinäisiä, kevyempiä rakenteita esimerkiksi nostolaitteissa ja kuljetuskonteissa tai toisaalta hyvinkin paksuja, lujia ja kovia teräsrakenteita murskainten osissa ja kauhoissa.

## BSA ja HYBRIDS luovat uusia arvoverkkoja ja kilpailukykyä

Toisen sukupolven FIMECC BSA- ja HYBRIDS-ohjelmiin (aloitettu 2014) on rakennettu uudenlaisia monialaisia projektikokonaisuuksia, joissa haetaan ratkaisuja yritysten tulevaisuuden tarpeisiin ja alan keskeisiin tutkimuskysymyksiin sovelluslähtöisen materiaalikehityksen kautta. Mukana on iso joukko pk-yrityksiä sekä paljon materiaalien käyttäjiä eri sovellusalueilta.

BSA (Breakthrough Steels and Applications) kehittää mm. uusia elinkaarihokkaita teräksiä ja valumateriaaleja kasvavien teknologia-alojen (esim. bioenergia, arktiset teknologiat, kuljetusvälineet) sovelluksiin. Yhteistyössä on mukana 31 yritystä ja 7 tutkimuslaitosta. Myös uusien valumateriaalien systemaattinen tutkimus etenee. Uuden sukupolven valumateriaaleja kehitetään ja sovelletaan systemaattisesti mm. Componentan, Wärtsilän, Ponsen, Posivan, VTT:n ja Aalto-yliopiston voimin.

## Tohtorikoulu kasvattaa uutta monialaista osaamista

Merkittävä osa tutkimustyöstä tehdään yli 30 väitöskirjatyön muodossa ohjelmien yhteisessä omassa tohtorikou-

lussa (FIMECC Breakthrough Materials Doctoral School). Tutkijat pureutuvat yhdessä teollisuuskumppanien kanssa määriteltyihin, tutkimuksellisesti haastaviin ja oikeisiin ongelmiin yhteistyössä alansa johtavien kansainvälisten tutkimuskumppanien kanssa.

## VALURAUTOJEN OMINAISUUDET KOROTETUISSA LÄMPÖILOISSA

Aalto-yliopistolla tutkijana toimiva diplomi-insinööri Kalle Jalava esitteli otsikon mukaisessa tutkimusprojektissa tehtävää valurautatutkimusta omalta osa-alueeltaan. Tutkimuksen pääpaino on eri valurautatyypin lämmönsiirto-ominaisuuksien selvittämisessä ja optimoinnissa. Lämmönsiirron parantaminen lujuusominaisuuksia menettämättä on välttämätöntä, jotta koneenrakennusteollisuuden toimijoiden kehityshaasteet voidaan ratkaista. Tähän tutkimusalueeseen on lähtenyt tiiviisti mukaan joukko merkittäviä valutuotteiden käyttäjiä, kuten Wärtsilä Oy, ja valimoita, kuten Componenta Oyj.

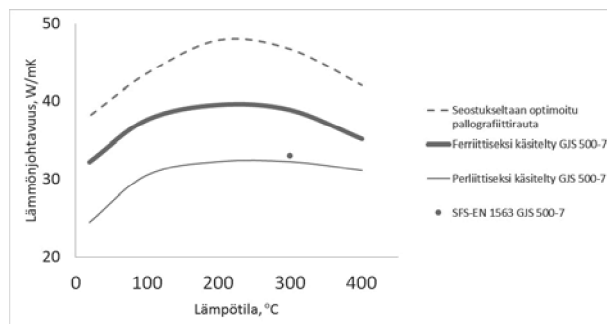
Tutkimus on vahvasti kokeellinen. Ohjelman mukaiset testivalut tehdään pääosin Valimoinstituutissa Tampereella, mutta myös Aalto-yliopiston valimolaboratoriossa sekä vaativampien materiaalien osalta lisäksi mainittujen teollisuuslaitosten avustuksella. Tämä on osana isompaa FIMECC BSA Novel cast materials -materiaalitutkimusprojektia, joka puolestaan kuuluu Fimecc Oy:n koordinoimaan tutkimuskokonaisuuteen.

### Materiaalidataa teollisuudelle tieteen keinoin

Nyt käynnissä oleva tutkimus on osa Kalle Jalavan väitöstyötä, joka on tarkoitus saada päätökseen vuonna 2017. Tavoitteena väitöstutkimuksessa on täyttää teollisuustoimijoiden tarve korotettujen lämpötilojen materiaalidatalla ja -ymmärryksellä. Tieto valurautojen todellisesta fysikaalisesta käyttäytymisestä vaativissa käyttöolosuhteissa on elintärkeää yhä monimutkaisempien valukomponenttien suunnittelussa. Teollisuuslaitokset ja siellä työskentelevät materiaalivastaavat ovat tuoneet esille sen, että valumateriaalien todellisesta käyttäytymisestä tulisi saada huomattavasti tarkempaa dataa kuin mitä yksinomaan laveat materiaalistandardit antavat. Tästä hyvänä esimerkkinä ovat kuumassa käyttölämpötilassa toimivat ja valuteknisesti vaativat Wärtsilän moottoreiden sylinterikannet.

### Optimoitu valutuote valimosta loppukäyttäjälle

Tutkimuksen tässä vaiheessa on jo huomattu, että valujen valmistuksessa lähes kaikki vaikuttaa kaikkeen. Valuraudalle ominainen grafiitti monine olomuotoineen yhdistettynä erilaisiin mikrorakenteisiin luo valunkäyttäjälle laajan ominaisuuskirjon. Mm. suomu-, tylppä- ja pallografiittiraudat ovat käyttäytymiseltään aivan erilaisia. Suomu- ja tylppägrafiittiraudoilla hiili antaa olomuotonsa vuoksi lämmönsiirtoetua, mutta samalla heikentää mm. lujuusominaisuuksia verrattuna pallografiittivalurautaan. Hiilen erityisominaisuuksien, mm. muoto- ja johtavuusominaisuuksien, takia suomu- ja tylppärautoja on helpompaa lujuuttaa lämmönjohtavuuden heikentymättä, kun taas pallografiittirautojen kanssa on oltava tarkempaa mikrorakenteen



Kuva 12. Tutkimuksessa saatuja esimerkkituloksia verrattuna materiaali-standardin suppeaan datapisteeseen.

dominoivan vaikutuksen takia. Syvempää valurautaymmärrystä etsivän tulee siis ottaa huomioon vähintäänkin materiaalin seostus, grafiitin olomuoto, yleinen mikrorakenne ja komponentin käyttölämpötila-alue.

## AUSTEMPEROITU PALLOGRAFIITTIRAUTA (ADI) ADI:n löytymisen ja käytön historiaa

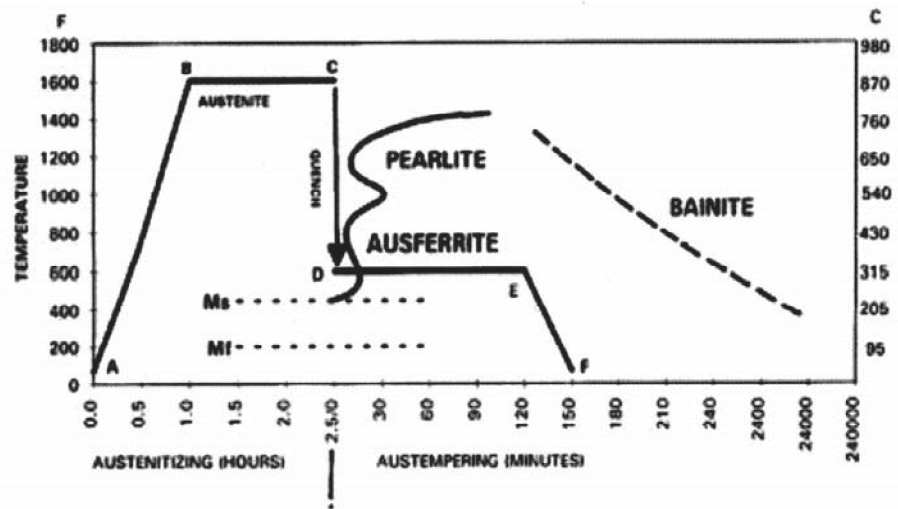
Moventaksella päämetallurgina työskentelevä DI Kaisu Soivio aloitti esitelmänsä kertomalla pallografiittivalurautojen kaupallisen käytön historiasta, joka ulottuu 1940-luvun loppupuolelle. Tuolloin magnesiumin ja ceriumin grafiittia pallouttava vaikutus havaittiin Millisin ja Morroghin tutkimusten tuloksena. Suurin kehitysaskel pallografiittivalurautoissa tapahtui 1970-luvulla, jolloin austemperoidun pallografiittivaluraudan (ADI) erinomaiset mekaaniset ominaisuudet havaittiin ja tuotteistettiin asiakkaiden käyttöön. Seuraava kehitysaskel saikin odottaa aina 2000-luvun taitteeseen asti, jolloin Millisin 1949 julkaiseman patentin johtopäätösten vastaisesti osoitettiin piin seostuksella olevan pallografiittivaluraudan sitkeyttä lisäävä vaikutus eikä haurastuttava, kuten Millis oli tuloksistaan päätellyt. Tämä ehkä vuosikymmeniä pallografiittivalurautojen kehitystä hidastanut johtopäätös perustui yksinkertaiseen ajatusvirheeseen, jonka perusteella mangaanin korkean pitoisuuden aiheuttamaa murtovenymän alentumista pidettiin piistä johtuvana.

### Liuoslujitetut pallografiittiraudat käyttöön 2011

Vuonna 2011 piillä liuoslujitetut pallografiittivaluraudat hyväksyttiin osaksi eurooppalaista standardia EN 1563. Standardin mekaanisia ominaisuuksia esittäviin taulukoihin perehdyttäessä on helppo havaita piin suotuisat vaikutukset mekaanisille ominaisuuksille. Piillä seostaen on mahdollista saavuttaa vastaava vetomurtolujuus, vähintään kaksinkertainen vetomurtovenymä ja korkeampi myötö- ja murtolujuuksien suhde, ja rakenteet on joka tapauksessa mitoitettava myötö- eikä murtolujuuden mukaan. Näiden positiivisten havaintojen perusteella tehtiin tutkimussuunnitelma, jonka tarkoituksena on selvittää piin vaikutusta ADI:n valmistettavuuteen ja saavutettaviin mekaanisiin ominaisuuksiin.

### ADI:n valmistus perustuu lämpökäsittelyihin

ADI:n valmistus perustuu kolmivaiheiseen lämpökäsittely-



Kuva 13. ADI valmistetaan kolmivaiheisella lämpökäsittelyllä pallografiittivaluraudasta.

lyyn. Ensin rauta kuumennetaan seostuksesta riippuen noin 850–900 °C:n lämpötilaan, jolloin valutilainen ferriittis-perliittinen mikrorakenne muuttuu täysin austeniittiseksi. Austenoinnin aikana grafiitista liukenee hiiltä matriisiin tasapainopiirroksen mukaisesti, ja tavoiteltava hiilipitoisuus on noin 0,6–0,8 %. Austenoinnin jälkeen rauta sammutetaan tavallisimmin suolakylpyyn, sillä rauta ei saa muuttua martensiittiseksi. Sammutuksessa on varmistettava riittävän suuri jäähtymisnopeus, ettei ferriittiä tai perliittiä pääse syntymään. Koska suolakylvyn jäähtyysvaikutus on rajallinen, on paksuseinämäisempiä kappaleita seostettava seosaineilla, jotka siirtävät ferriitin ja perliitin muodostumista myöhemmäksi. Tavanomaisesti käytettyjä seosaineita ovat esimerkiksi nikkeli, kupari ja molybdeeni. Sammutussuolan lämpötila on tavoitellusta ADI:n lujuusluokasta riippuen 270–350 °C. Sammutusta seuraa pito tässä lämpötilassa, niin kutsuttu austemperointi, joka vastaa käsittelynä terästen bainitointia. Ero bainitoinnin ja austemperoinnin välille syntyy pallografiittivaluraudan sisältämän piin ansiosta, sillä piin matala liukoisuus karbiideihin hidastaa bainiittisten karbidien syntymistä ja austemperoinnin tuloksena syntyy metastabiili ferriittis-austeniittinen duplex-rakenne eli ausferriitti. Kuvassa 13 on esitetty ADI:n kolmivaiheinen lämpökäsittely.

### ADI on tutkimuksen kohteena myös Suomessa

FIMECC:n tutkimushankkeen BSA NOCMA ADI:in keskittyvän osaprojektin ensimmäisessä vaiheessa on lämpökäsittely kaupallisessa valimossa valettua, piillä liuoslujitettua EN-GJS-500-14-pallografiittivalurautalautaa sekä laboratorio- että pienessä teollisessa mittakaavassa. 20 mm:n koeksuavat koneistettiin 25 mm:n y-blokista. Aalto-yliopiston konetekniikan materiaalitekniikan laboratoriossa suoritetuissa lämpökäsittelyissä koeksuavat austeniittiin 60 minuuttia 950 °C:n lämpötilassa ilma-atmosfäärissä ja sammutettiin 270, 300 ja 330 asteisiin suolakylpyihin, joissa pitoaika oli 90 minuuttia. Lämpökäsittelyistä sauvoista koneistettiin standardin mukaiset vetokoe-sauvat ja niille suoritettiin vetokoe. Tulokset on koottu taulukkoon 1. Tuloksista nähdään, että suoraan kaupallisesta GJS-500-14-laadusta on mahdollista saada sitkeää ADI:a myös matalissa lämpötiloissa lämpökäsittelemällä. Hypoteesi on, että korkeampi piipitoisuus ehkäisee karbidien muodostumista paremmin, jolloin myös matalissa

Material	YS [MPa]	UTS [MPa]	A [%]
GJS 500-14 1	1149	1563	4
GJS 500-14 2	1143	1483	7,8
GJS 500-14 2	1000	1364	7
GJS 500-14 2	981	1291	6

Taulukko 1. Laboratoriolämpökäsittelyillä saavutetut mekaaniset ominaisuudet.

lämpötiloissa alle 300 °C:ssa austemperoidut ADI:t säilyttävät sitkeytensä.

Kaupallisen piillä liuoslujitetun pallografiittivaluraudan lisäksi on Valimoinstituutilla valettu koeksuatuksia, joissa on varioitu piin, mangaanin ja aiemmin mainittujen karkenevuutta lisäävien seosaineiden määriä. Näiden tulosten arviointi on vielä kesken. Koeksuatusten ja käytäntöä matkivien kokeiden lisäksi tutkimuksessa on käytetty lämpökäsittelysimulaattoria. FIMECC BSA -projektissa mukana olevan Oulun yliopiston kanssa yhteistyössä Gleeble-laitteistolla suoritettavilla lämpökäsittelyillä tutkitaan austenointilämpötilan ja piin vaikutusta karkenevuuteen. Menetelmässä päästään todella tarkasti hallittaviin lämpötilakäyriin, ja pienillä näytteillä on mahdollista simuloida myös isojen kappaleiden jäähtymisnopeuksia. Tämä helpottaa väitöstyötä tekevän Kaisu Soivion mukaan lämpökäsittelymallin kehittämistä.

### Yhteenveto ja yhteistyötahot

Tutkimuksissa on havaittu ADI:n valmistamisen olevan mahdollista piillä liuoslujitetusta ferriittisestä lähtöaineesta. Koeksuavojen koneistuksen yhteydessä on kuitenkin havaittu koeksuavojen olevan äärimmäisen kovia ja vaikeita valmistaa. Syytä tähän tutkitaan parhaillaan.

Piin potentiaalinen lisä karkenevuudelle ja piin toiminta muiden karkenevuutta lisäävien seosaineiden kanssa yhteistyössä on niin ikään työpöydällä. Jatkossa koevalut

tulevat keskittymään etenkin paksuseinämaisiiin kappaleisiin ja niiden lämpökäsittelyn hallintaan. Väitöskirjatyössä on tarkoituksena lisätä osaamista ADI:n seostuksen vaikutuksesta karkenevuuteen ja kehittää lämpökäsittelymalli, jonka avulla monimutkaistenkin kappaleiden ADI-käsittelyjen simulointi on mahdollista. Soivion tutkimustyön tuloksia ovat edistäneet tohtorikoulutettavakollega Kalle Jalava Aalto-yliopistosta, Oskari Ryti Suomen Materiaalitutkimus Oy:stä ja Juha Uusitalo Oulun yliopistosta. Tutkimustyötä on rahoitettu FIMECC BSA -hankkeesta.

## UUTTA LÄHESTYMISTÄ ISOIHIN RAUTA- JA TERÄSVALUIHIN

Meehanite Worldwiden presidentti Pekka Kempainen korosti valuteknologian tärkeyttä: jopa yli 90 % teollisesti valmistetuista tuotteista sisältää valuja. Esielmän teemat olivat: 1) raskaiden valujen valmistukseen liittyvät tekniset ja logistiset ongelmat, 2) paksuseinämaisten pallografiittirautalaatujen puutteelliset standardit ja testausmenetelmät, 3) mahdollisuudet parantaa isojen valujen materiaalin laatua ja tuotannon tehokkuutta yhdistämällä testattuja tekniikoita samaan automatisoituun prosessiin jopa 100 tonnin valuille.



Kuva 14. Värikkäillä vertauksilla herätteli yhdistyksemme kunniajäsen Pekka Kempainen valimoita ja valun käyttäjiä kehitysharppauksiin. Maailma muuttuu nopeasti, olisiko syytä valun käyttäjien ja valimoidenkin sopeutua muutoksiin ja nähdä muutoksien mukanaan tuomat mahdollisuudet?

### Lujempaa varmemmin ja halvemmalla

Erityisesti isoille rauta- ja teräsvaluille tarvitaan ajanmukaiset standardit ja testit lujemmille, kevyemmille ja halvemmille valuille. Teknisenä haasteena pitää olla, että isotkin valut tulee valmistaa automaattilinjalla asennusvalmiiksi komponenteiksi ja osakokoonpanoiksi. Jopa alansa parhaita valimoita on vaikea kutsua tehtaiksi, kos-

ka suurimman osan ajasta ne ovat koneiden ja keskeneräisen tuotannon varastoina. Tuottavuushyppy pitäisi aloittaa siitä, että valimot ja jatkojalostus toimisivat pikemminkin yhtäjaksoisesti 24/7 kuin kahdeksan tuntia viitenä päivänä viikossa.

Erityisesti kalliin työvoiman maissa, kuten Suomessa, pääoman pitäisi olla paljon tehokkaammassa käytössä. Pekka Kempainen esittikin kysymyksen: ”Miten maailman vähätöisimmälle kansakunnalle voisi kuulua maailman korkein elintaso?”

### Isojen rauta- ja teräsvalujen valmistuksen ongelmat

Markkinoiden muututtua globaaleiksi tehtaot suunnitellaan maailmanlaajuisia markkinoita varten. Koneet kasvavat isommiksi ja niitä valmistetaan enemmän kuin yksi. Tästä seuraa, että isompien valujen tarve kasvaa nopeaa vauhtia.



Kuva 15. Tuuliturbiineissa on nopeasti siirrytty noin yhden megawatin maalle pystytettävistä turbiineista 6–8 MW:n ja jatkossa jopa 10–12 MW:n merelle rakennettaviin koneisiin. Yllä 1,5 MW:n ja alla 6 MW:n tuuliturbiinin napa.

Kahden avainkomponentin eli navan ja rungon paino on noussut alle 10 tonnista yli 50 tonniin ja rungon osalta 15 tonnista 75 tonniin. Valutuotteiden ääriimitat ovat kasvaneet parista metristä 6–8 metriin. Näin valtaviin valujen valmistukseen ja saatavuuteen liittyy myös ongelmia:

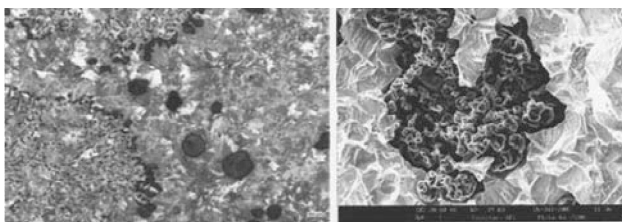
- Maailmassa on vain harvoja valimoita ja koneistajia, jotka pystyvät valmistamaan näin valtavia valukomponentteja.
- Todella suurten valujen maakuljetus on erittäin kallista: rahti sisämaassa sijaitsevalta valimolta rannikon koneistajalle voi maksaa enemmän kuin itse valu!

- Merikuljetuksessa suuret valut eivät mahdu konttiin, ja ne kuljetetaan aluslevyllä eli ”flätillä”. Näin rahdin hinta melkein kymmenkertaistuu, eli rahti nousee 60–80 eurosta tonnia kohden aina 500–600 euroon tonnilta. Tämä kumoo täysin halvemman palkkatason tarjoaman kustannusedun, jos valu tuodaan esimerkiksi Kiinasta Eurooppaan.

- Valujen laadun kannalta yli 200 mm:n seinämät jäähmettyvät ja jäähtyvät niin hitaasti, että tavoitellun mikrorakenteen, erityisesti pallografiitin saavuttaminen vaikeutuu.

### Chunky-grafiitti eli matojen pesä

Ylisuuren valutuotteen valmistamisessa suurena ongelmana on pitkä jäähmettymis- ja jäähtymisaika, erityisesti hiekkamuottiin valettaessa. Tämä johtuu suurten valujen paksuista seinästä ja koko valun massiivisesta koosta. Viikon muottijäähdyttämisen aiheuttaman valtavan tilantarpeen lisäksi kappaleen sisälle syntyy epämuodostunutta grafiittia eli chunky-grafiittia, joka on esitetty kuvassa 16. Tällaista materiaalia kansainväliset tuuliturbiinivalmistajat joutuvat kuitenkin hyväksymään enimmillään 30 % seinämän keskiliinjalla, kun parempaakaan ei saada aikaiseksi, Kemppainen totesi.



Kuva 16. Chunky-grafiittia, vasemmalla mikrorakenteessa ja oikealla murtopinnassa. Mikroskooppilla katsottuna rakenne näyttää matojen pesältä. Tämä rakenne ei tietenkään täytä vaadittuja lujuusominaisuuksia.

### Tuuliturbiinin avainkomponentit

Tuuliturbiinien valettuja osia ovat napa, runko, laakeripevät, generaattorin kuoret ja vaihteellisessa versiossa vaihteiston osat. Useimpien valuosien materiaaliksi on valittu pallografiittivalurauta GJS 400-18-U-LT. Tähän on päädytty, koska se oli ainoa pallografiittimateriaali, jolle oli määritelty sitkeyttä kuvaava iskusitkeysarvo 10 J matalissa lämpötiloissa -20 °C tai -40 °C. Tämän materiaalin myötöraja on vain 250 MPa. Iskusitkeys ei ole mitoituksen perusta, joten se on väärä kriteeri sitkeydelle – eikä se ole enää mukana EN 1563 -standardissa. Tämän vuoksi tornin päähän asennettavia koneita ei pitäisi missään tapauksessa valmistaa heikoimmasta ja siten painavimmasta valumateriaalista. Lisäksi Kemppainen haastoi konepaja- ja valimoteollisuuden edustajia kertomalla, että tuulisähkön hinnan alentamiseksi komponentit pitää saada 35 % kevyemmäksi ja 50 % edullisemmaksi.

Tuuliturbiinin tehon kasvattamiseksi parhaimmat keinot ovat korkea torni, pitkät lavat ja 8–10 MW:n teholuokka. Tämän seurauksena valujen seinämäpaksuus ja paino väistämättä kasvavat. Koon kasvamisesta seuraa paksuseinämäiselle GJS-400-valulle valmistusteknisiä ongelmia, joita ovat mm.:

- GJS-400-valulle ei ole sitkeyskriteeriä suunnittelulle

eikä testaamiselle matalissa lämpötiloissa.

- Feriittisenä laatuina se edellyttää matala-manganisen puhtaan sularaaka-aineen, josta on aina huutava pula ja se on hyvin kallista. Edellisen korkeusuhdanteen aikana vuonna 2008 matalamanganisen harkon hinta nousi 800–900 euroon tonnilta eli kaksinkertaiseksi romuun verrattuna. Sitä tarvitaan yli 50 % sulapanoksesta.

### Lujempia valumateriaaleja ja murtumissitkeys iskusitkeyden tilalle

Käytettävissä on myös lujempia valumateriaaleja, ja näitä ovat mm. EN GJS 500-14, EN GJS 600...800 ja ADI sekä lukuisia joukko valuteräksiä. Se, miksi näitä ei kuitenkaan käytetä, johtuu Kemppaisen mukaan kana-muna-tyypistä ongelmasta: kaikki tuuliturbiini pitää hyväksyttävä luokituslaitoksilla. Eräällä saksalaisella luokituslaitoksella on poikkeuksellisen vahva markkina-asema tällä toimialueella, eivätkä he ”poliisin roolissa” ole juuri halukkaita muuttamaan nykytilannetta. Tämän vuoksi tuuliturbiinivalmistajat jatkavat vanhoilla eväillä. Ainoa vaatimus tällä luokituslaitoksella on, että murtovenymä on yli 12,5 % ja murtuma tapahtuu sitkeänä matalimmassa suunnitellussa käyttölämpötilassa.

### Murtumissitkeys kriteeriksi iskusitkeyden tilalle

Paras keino valmistaa kevyempiä valuja on ottaa iskusitkeyden sijaan murtumissitkeys suunnittelu- ja testauskriteeriksi. Ferriittisille pallografiittiraudoille tulisi luoda ns. master curves eli sitkeyden peruskäyrät samoin kuin teräksilläkin. Meehanite on mukana EU:n Vanguard Initiative -ohjelmassa, jossa se eurooppalaisten turbiinivalmistajien ja materiaalitutkimuslaitosten kanssa pyrkii käynnistämään ko. ongelmaan pureutuvan tutkimusohjelman. Meehanite on maailmanlaajuinen lisenssivalimoiden ja alueellisten Meehaniten konsultointiyhtiöiden organisaatio, joka kehittää uutta teknologiaa ja lisensoi sitä. Murtumissitkeys mitataan yleensä valtavan isoilla testikappaleilla. Tämä voitaisiin korvata käyttämällä samoja standardoituja näytesauva-aihoita kuin vetokokeissakin eli erillään ja kiinnivalettuja sauva-aihoita ja omenaporalta otettua näytettä. Murtumissitkeystestisauvan vaatima alkusäro tulisi valmistaa vakioidulla suomalaisen Trueflow Oy:n professori Iikka Virkkusen kehittämällä termomekaanisella särönvalmistuskoneella, Kemppainen ideoi. SuperCast-valimon kustannukset alas ja laatu huippuunsa Valutuotteen teräshiekkapuhallus, hionta tai karkeakoneistus, mitta- ja ultraäänitarkastus sekä metallipinnoitus ja maalaus tehdään robotisoituna kappaleen ollessa koko ajan samassa jigissä. Lopuksi mm. tuuliturbiinin napa kokoonpannaan saman nosturin alla. Soveltamalla kaikkia Meehanite-teknologioita ja siirtymällä lujempien valumateriaalien käyttöön isoissa valuissa kokonaisuäästöt ovat vähintään 25–35 %. Jos valimo suunnitellaan jo alun perin SuperCast-prosessille, kustannusetu voi olla jopa 40–50 %. Tällainen SuperCast-valimo testataan tämän vuoden kuluessa ns. mallivalimo-projektissa. Ensimmäinen tuotannollinen laitos on toiminnassa parin vuoden sisällä, mahdollisesti Skotlannissa.

## HIEKKAMUOTTIEN 3D-TULOSTUS

Hetitec Oy on saksalaisen 3D-tulostinvalmistaja voxeljet AG:n virallinen partneri Suomessa, totesi toimitusjohtaja, diplomi-insinööri Ville Moilanen esitelmänsä aluksi. Hetitec on erikoistunut Valkeakoskella valumuottien ja keernojen valmistamiseen 3D-tulostamalla suoraan CAD-tiedostosta, jolloin ns. perinteisiä mallivarusteita ei tarvitse valmistaa.

Menetelmän merkittävimmät edut ovat lähes rajoittamaton geometrinen vapaus, nopeus ja kustannustehokkuus. Mitä monimutkaisempi valukappale, pienempi eräko ja tiukempi aikataulu, sitä kilpailukykyisempi menetelmä on. Tarvittavat muotit ja keernat saadaan valmistettua jopa seuraavaksi päiväksi, ja monimutkaisistakin valukappaleista voidaan tehdä uusia tuotekehitysversioita aina tarpeen mukaan. Suurin osa Hetitecin asiakkaiden projekteista liittyykin joko valukappaleiden tuotekehitykseen tai varaosatuotantoon, jolloin kyseessä ovat kiireelliset ja pienivolyymiset varaosat.

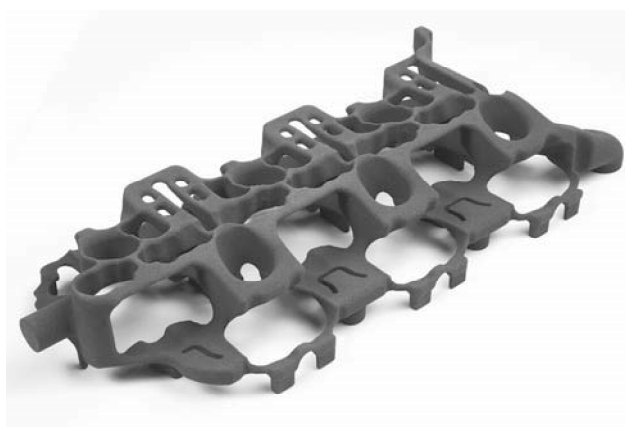


Kuva 17. Maailman suurimman tulostusalueen hiekkatulostin tulosti yhtenä kappaleena tämän hiekkatornin. Koneen malli on voxeljet VX4000, jonka tulostusalue on 4 000 mm x 2 000 mm x 1 000 mm. Koneen tuottama 600 dpi:n resoluutio takaa erinomaisen mittatarkkuuden  $\pm 0,3$  % ja  $\pm 0,3$  mm kappaleen koosta riippumatta. Tornin viereen mittatikuksi kuvaa varten on asettanut voxeljet AG:n CEO Dr. Ingo Ederer.

## Säästöjä läpi prosessin

Valumuotien 3D-tulostaminen on vienyt useiden Hetitecin asiakasyritysten valutuotteiden tuotekehityksen aivan uudelle tasolle, sillä nyt prototuotteita voidaan valmistaa totuttua nopeammin ja edullisemmin. On ennennäkemätön tilanne, että valukappaleen monimutkaisuus ei juurikaan vaikuta prototuotteen valmistuskustannukseen, vaan merkittävimmät tekijät ovat toimitusaika ja tulostettavan muotin tai keernan koko. Parhaissa tapauksissa tuotekehityssykliä on voitu lyhentää 1,5 vuodesta viiteen viikkoon, minä aikana tehdään viisi eri versiota, joista 4. ja 5. rinnakkain viikolla 5.

Huomattava kustannusetu tulee myös siitä, että tuotekehitysprosessin aikana ei tarvitse välttämättä miettiä lainkaan kappaleen valettavuutta sarjatuotannossa. Tämä tarkoittaa, että koneenosasta voidaan valaa testiversio ja ajaa sillä testit läpi ja suunnitella kappaleen valettavuutta vasta myöhemmin. Sitä mukaa kun valukappaleen lopulliset geometriat varmistuvat ja tarvittavat volyymit nousevat, voidaan siirtyä käyttämään ns. perinteisiä, sarjatuotantoon soveltuvia valmistusmenetelmiä eli valumalleja ja keernalaatikoita. Jos kappale on erittäin monimutkainen ja mallivarusteet ovat kalliita, kannattaa varmistaa valujärjestelmän toiminta tekemällä muutama kappale ensin 3D-tulostetuilla muoteilla/keernoilla, jotta myöhemmässä vaiheessa välttyttäisiin mallivarusteiden kalliilta ja aikaa vieviltä muutoksilta.



Kuva 18. Poikkeuksellisen suurta mittatarkkuutta vaativa vesitilan keerna on valmistettu tulostamalla, ja se on menossa valimoteollisuuden käyttöön.

Oikea valmistusmenetelmä kullekin valumuotin osalle Valimoiden kannalta on tärkeää tarkastella yksittäisten keernojen tulostuksen kustannustehokkuutta. Paras hyöty saadaan aina valitsemalla kullekin valumuotin osalle ja keernalle sopivin valmistusmenetelmä. Tämän vuoksi kannattaakin laskea tarkasti se, mitä aiotaan tulostaa ja mikä on volyymi. Esimerkiksi tulostetun keernan kappalehinnan vertaaminen keernalaatikon hintaan ei riitä, vaan laskennassa kannattaa ottaa huomioon myös kaikki kustannukset, joita syntyy esimerkiksi keernojen kaavauksessa ja kasaamisessa muottiin.



Kuva 19: Seminaarin luennoitsijoista osa saatiin yhteiseen valokuvaan ensimmäisen kahvitaun aikana. Istumassa vasemmalta Kaisu Soivio, Hanna Tuhkanen, Gerhard Klügge, Eero Pellikka ja Juhani Orkas. Seisomassa takana Kalle Jalava, Jukka Palokangas, Jarkko Laine, Markku Eljaala, perjantaipäivän puheenjohtaja Marko Telenius ja Markku Heino.

## UUODEN VALUNKÄYTTÄJÄ

Kontaktitilaisuus alkoi vuoden valunkäyttäjän palkitsemisella. Nyt muistamisvuorossa oli John Deere Forestry Oy. ”John Deere on aktiivisesti ja määrätietoisesti kehittänyt tuotteissaan käytettäviä valukomponentteja ja lisännyt niiden määrää lopputuotteissaan. Se on myös tehnyt hyvää yhteistyötä Valimoinstituutin kanssa ja käyttänyt sen koulutuspalveluita henkilöstönsä kouluttamiseen valujen suunnittelun ja valujen käytön lisäämiseksi”, perusteli valintaa VALTY ry:n asiantuntija, professori Juhani Orkas. Hän nosti esiin myös John Deeren osoittaman vahvan luottamuksen suomalaisten valimoiden osaamiseen globaalissa maailmassa. Hän uskoo, että yhtiö tulevaisuudessakin kehittää tuotteitaan yhteistyössä kotimaisen valimoiteollisuuden kanssa. Valimot puolestaan haluavat pitää

yllä aktiivista vuoropuhelua valutuotteita käyttävien yritysten kanssa, kuunnella heidän tarpeitaan ja varmistaa siten valimotoiminnan jatkumisen Suomessa.

### John Deeren kiitospuheenvuoro

Tuotekehityspäällikkö Juha Vainio mainitsi kiitospuheenvuorossaan, että John Deere käyttää valettuja osia metsäkoneissaan esimerkiksi kuormaimissa, puomeissa ja harvesteripäissä. Noin puolet on teräsvaluja ja puolet rauta- valuja. Valuilla haetaan kustannustehokkuutta, sillä monimutkaisia rakenteita on hankala tehdä hitsaamalla. ”Valettu osat ovat myös kevyempiä. Niitä voi optimoida eli lisätä paksuutta sinne, missä on korkeammat jännitykset. Loppuasiakkaille valujen käyttäminen näkyy heidän vaatimuksensa täyttävänä laatu- ja kestävyysnäkökulmasta”, selvitti Vainio.



Kuva 20. Vuoden valunkäyttäjän -todistus ja John Deeren vanhempi suunnittelija Aki Pyykkö. Tuotekehityspäällikkö Juha Vainion kädessä on valamalla valmistettu löylykauha. Valimoviestin lukijat onnittelevat sekä toivottavat kipakoita löylyjä.

*Kuvat: Artikkelin teknisen osan kuvat ja taulukot ovat luennoitsijoiden toimittamia. Seminaarissa otetut kuvat ovat kirjoittajan ottamia. Kuvan 20 toimitti John Deere Forestry Oy.*

*Kirjoittaja kiittää luennoitsijoita aktiivisesta osallistumisesta kirjoitustyöhön. Ilman näidenn asiantuntijoiden kontribuutiota ei artikkalini olisi toteutunut.*