

# materia

1.2005

Geologia & Kaivos- ja prosessitekniikka & Metallurgia & Materiaalitekniikka

**Normet RBO on maanalaisten kaivosten huoltokuljetukseen suunniteltu ajoneuvo, s. 33**



Ihminen ohjaa toistaiseksi autoa, mutta auto ohjaa merkittävää osaa teollisuuden kehitystoiminnasta. Tässä numerossa tarkastellaan miten materiaalitekniikkaa hyödynnetään autojen valmistuksessa.



# OUTO KUMPU



## Kuinka iloa kierrätetään? Käytä Outokumpu-tekijää.

Mihin tahansa katsotkin, näet ruostumatonta terästä. Korroosionkestävää, esteettistä ja erittäin hygieenistä. Ruostumaton teräs on äärimmäisen lujaa, mutta silti kevyttä ja helppoa työstää. Eikä sitä juurikaan tarvitse huoltaa.

Ilouutinen ympäristöllemme on se, että ruostumaton teräs on myös täysin kierrätettävää. Se on huomisen materiaalia, jota voimme tarjota mitä moninaisimpiin käyttökohteisiin jo tänään.

Tämä on vain yksi esimerkki Outokumpu-tekijästä – asiakkaidemme toimintaa tehostavasta kilpailuedusta. Se on luotettava lisätekijä, joka auttaa Sinua menestymään.

*Outokumpu on dynaaminen metalli- ja teknologiakonserni, jonka selkeänä tavoitteena on kehittyä maailman johtavaksi ruostumattoman teräksen yritykseksi. Useilla eri aloilla toimivat asiakkaamme ympäri maailmaa käyttävät metallituotteitamme, teknologiaamme ja palvelujamme. Niiden avulla autamme asiakkaitamme saavuttamaan kilpailuetua. Kutsomme tätä lupaustamme Outokumpu-tekijäksi.*

OUTO  
KUMPU

# HOLE-IN-ONE - JOKA REIÄLLÄ



Boltec - Johtava pultituslaite tehokkaaseen työskentelyyn  
vaativissa olosuhteissa



Tähän pystyy vain harva golfari. Atlas Copcon tuotevalikoimaan kuuluvalla Boltecilla sen sijaan tämä on arkipäivää; niin lyhyillä kuin pitkilläkin rei'illä.

Boltecilla on mahdollista suorittaa vaativa pultitus työ turvallisesti, tehokkaasti ja laadukkaasti. Mekanisoitu pultituslaite poraa reiän ja asentaa pultin ilman, että syöttölaitetta tarvitsee siirtää.

Tietokoneohjattu poraus - ja vianetsintäjärjestelmä mahdollistaa käyttäjän ja laitteen vuorovaikutteisen työskentelyn sekä tiedonkeräyksen, -varastoinnin ja -siirron.

*Boltec soveltuu kaikille yleisimmin käytetyille pulttityypeille pituudeltaan 1.5 m – 6.0 m. Laite soveltuu sekä matalien että korkeiden kallioilöjen pultitukseen, välillä 3.8 m - 12.0 m. Porakone COP 1532 minimoi porakaluston kulumisen ja takaa maksimaalisen poraussuorituksen.*

Lisätietoa Boltecista ja muista kallion lujitustuotteistamme: [www.rockreinforcement.com](http://www.rockreinforcement.com)

**Oy Atlas Copco Louhintateknikka Ab**

Tuupakankuja 1, 01740 VANTAA

Puh. 09 296 442, fax 09 2964 218

[www.atlascopco.fi](http://www.atlascopco.fi), [louhinta@fi.atlascopco.com](mailto:louhinta@fi.atlascopco.com)

**Atlas Copco**



Materia-lehti kattaa teknologian alueet geofysiikasta ja geologiasta lähtien ml. kaivos- ja prosessiteknikka ja metallurgia sekä materiaalin valmistus ja materiaaliteknikan erilaiset sovellutukset. Lehden alkuosa painotuu alan ja yritysten ajankohtaisiin asioihin. T&K-osa keskittyy tutkimuksen ja kehitystyön tuloksiin.

Materia magazine covers all areas of technology in the mining and metallurgical field, from geology and geophysics to mining, process technology, metallurgy, manufacturing and various materials technology applications. The first part of the magazine focuses on what's happening in the field and the companies involved while the R&D section concentrates on the results of research and development.

#### Päätoimittaja/ Editor in chief

Prof. Jouko Härkki, [jouko.harkki@oulu.fi](mailto:jouko.harkki@oulu.fi)  
Oulun Yliopisto, Prosessimetallurgian laboratorio,  
08-553 2424 fax 08-553 2339, 040-521 5655

#### Toimittajat, T&K / Editors, R & D

DI Harri Lehto, [harri.lehto@tkk.fi](mailto:harri.lehto@tkk.fi)  
TKK, Mekaaninen prosessi- ja kierrätystekniikka  
09-451 2786 fax 09-451 2795, 050-555 2786  
DI Arni Kujala, [arni.kujala@nokia.com](mailto:arni.kujala@nokia.com)  
Nokia Corporation  
07180-36279 fax 07180-37290

#### Toteuttava toimitus/ Editorial staff

L & B Forstén Öb Ay, [l-b.forsten@co.inet.fi](mailto:l-b.forsten@co.inet.fi)  
Bo-Eric Forstén, Leena Forstén, ulkoasu  
PL 45, 10601 Tammisaari  
019-2415604 fax 019-2415453

#### TOIMITUSNEUVOSTO / Editorial Board

DI Pekka Purra, pj / chairman  
[pekka.purra@eu.omgi.com](mailto:pekka.purra@eu.omgi.com)  
OMG Finland Oy  
09-4393 3752 fax 09-4393 3720, 050-1477  
Prof. (emer.) Veikko Lindroos,  
[veikko.lindroos@hut.fi](mailto:veikko.lindroos@hut.fi)  
TKK, Materiaalitekniikka  
09-41 2673 fax 09-41 2677, 050-550 2673  
DI Kauko Ingerttilä, [kauko.ingerttila@vtt.fi](mailto:kauko.ingerttila@vtt.fi)  
VTT Prosessit  
013-557 801 fax 013-557 557  
DI Erja Kilpinen, [erja.kilpinen@nordkalk.com](mailto:erja.kilpinen@nordkalk.com)  
Nordkalk Oyj Abp  
0204 55 3993 fax 0204 55 3901, 0400-814 156  
Tkt Juhani Orkas, [juhani.orkas@hut.fi](mailto:juhani.orkas@hut.fi)  
TKK, Mechanical Engineering  
09-451 3515  
DI Matti Palperi, Ulvilantie 11b D 1008,  
00350 Helsinki, 09-565 1221  
FL Mikko Tontti, [mikko.tontti@gsf.fi](mailto:mikko.tontti@gsf.fi)  
Geologian tutkimuskeskus  
020 550 2382 fax 020 550 12

#### ILMOITUSMARKKINOINTI / Advertising Marketing

Västra Nyland Ab, Nina Melén,  
Torikatu 1-3, 10300 Karjaa,  
019-278801 fax 019-230240

#### OSOITTEENMUUTOKSET / Changes in address

Ulla-Riitta Lahtinen, 0400-456 195  
[ulla-riitta.lahtinen@vuorimiesyhdistys.fi](mailto:ulla-riitta.lahtinen@vuorimiesyhdistys.fi)

#### PAINO / Printing house

Tammisaaren Kirjapaino Oy, Tammisaari  
Levikki 2900 kpl, 4 numeroa vuodessa, 62.  
vuosikerta ISSN 1459-9694

#### ILMESTYMISAIKATAULU / Coming out

	deadline	postitus
2/2005	6.4.	11.5.
3/2005	16.6.	22.8.
4/2005	12.10.	17.11.

- 03 *Antti Saarialho*: Materiaalitekniikka – ajoneuvo- ja työkoneteollisuuden kulmakivi  
04 *Bo-Eric Forstén*: Componenta löytämässä muotojaan; Toimitusjohtaja ja pääomistaja  
08 *Vesa Ollilainen*: Kokemuksia terästen kehittämisestä autoteollisuuden kanssa  
15 *Tuomo Tiainen*: Materiaalitekniikka elämänuraksi, Alan imago ja kiinnostavuus  
20 *Kalle Hanhi*: Muovit ja kumit autoteollisuudessa  
24 *Hannu Laatikainen ja Risto Lahtinen*: Autojen liikettä mittaavista antureista tulossa yhä enemmän piipohjaisia  
28 *Kari Laakkonen*: Hybridiauto – teknistä kikkailua vai arjen kulkuneuvo  
31 *Matti Parpola*: Kalevankadun autotehdas – ajoneuvoja oppilastöinä  
33 *Bo-Eric Forstén*: Normet osui kaivosautollaan lupaavaan markkinarakoon  
34 *Pekka Anttila ja Antti Peuhkurinen*: Remmi-Team



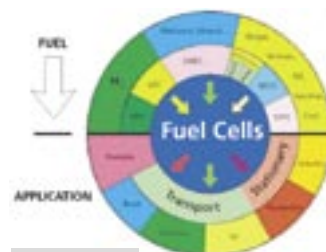
Sivut 4-7



Sivu 31

### Tiede & Tekniikka 36-51

- 36 *Veli-Tapani Kuokkala; Taina Vuoristo*: Myötönopeuden vaikutus terästen muodonmuutuskäyttäytymiseen  
45 *Michael Gasik*: Materials challenges in fuel cells and hydrogen technology



Sivut 45-51

#### Alan maailma

- 52 Outokumpu Oyj:n säätiö jakoi stipendejä  
54 *Magnus Ericsson*: Full house for mining investment  
55 Ajankohtaista yritysmaailmasta

#### Alan Akatemia

- 56 *Harri Lehto*: Kirjalahjoitus TKK:lle  
56 Hyväksytyjä opinnäytetöitä Oulusta

### Inside Out 60-61

- 58 *Antero Hakapää*: VMY:n 62. vuosikokous ja Vuorimiespäivät  
59 *Antero Hakapää*: Nuoren jäsenen stipendi  
59 *Harri Lehto & Sami Hindström*: Rikastus- ja prosessijaoston kuulumisia  
59 *Seija Aarnio*: Vuorinaiset Vanhassa Pankkitalossa  
60 *Seija Aarnio*: Vuorinaisten pikkujoulu Kansallisteatterissa

- 61 Ohjeita kirjoittajille  
61 Korjaus  
62 Vuorimiesyhdistyksen toimihenkilöitä 2004  
62 *Ulla-Riitta Lahtinen*: Uusia jäseniä; Uutta jäsenistä  
63 Palveluhakemisto  
64 Joukko Tosikkoja



# Materiaalitekniikka - ajoneuvo- ja työkoneteollisuuden kulmakivi

Ajoneuvojen ja liikkuvien työkoneteollisuus Suomessa ei voi kehua suurilla tuotantoluuvuilla, mutta kylläkin maailmanluokan osaamisella tietyillä erikoisalueilla. Tämä on vienyt markkinajohtajuuteen mm. satamien siirtokoneiden ja aivan viime aikoina myös panssarioitujen pyöräajoneuvojen tekniikassa. Ilman materiaalitekniikkaan, uusimpiin väsymisanalyysein menetelmiin sekä täysmittaisten prototyyppien käyttökokeisiin perustuvaa kestävyysuunnittelun syvällistä hallintaa ei näissä olisi mitenkään voitu onnistua.

Ajoneuvo- ja työkonesuunnittelun monitahoiset kehitystekijät on luokiteltavissa kahteen perusr ryhmään: laajempiin 'ympäristötekijöihin' ja suppeampiin 'teknillisiin tekijöihin'. Muodostaessani seuraavassa niistä eräänlaisen muistisäännön käytän tietoisesti englanninkielisiä lyhenteitä jouduttuani aiemmin vastaavaan tilanteeseen eräässä Cummins-tehtaalla käydyssä autondieselin kehityskeskustelussa.

Tarkoittamani ympäristötekijät ovat '3E + 4C + 4L' ja teknilliset tekijät '2E + 3P + 2W + 2H + 2T + D + 3M'. Tekijöitä on paljon, mutta jokseenkin kaikissa on materiaalitekniikalla merkittävä, ellei suorastaan ratkaiseva osuus. Siksi olen symbolin 'M' jättänyt viimeiseksi.

Ympäristönäkökohtiin liittyvä '3E' tarkoittaa kolmiyhteyttä 'energy – emissions – economy'. Mitä energiaa tulevaisuudessa käytämme? Millaisin päästöin eri vaihtoehdot toimivat? Mikä kokonaistaloudellisuus saavutetaan? Jos yksi näistä muuttuu, kaksi muuta muuttuvat myös. '4L' tarkoittaa asiakokonaisuutta 'laws of nature – legislation – logistics – life cycle'. Luonnonlakeja ei koneiden suunnittelija voi ohittaa. Lainsäädäntöä ym. viranomaismääräyksiä on noudatettava ja tuotannon logistiikan on oltava kunnossa. Life cycle, tuotteen koko elinkaari materiaalien kierrätyksineen kuuluu tänään koneensuunnittelun peruslähtökohtiin.

'4C' viittaa käsitteisiin 'customers, competition, cooperation, computers' eli asiakkaiden tarpeet, kilpailutilanne, yhteistyö järjestelmä- ja alihankkijoiden kanssa sekä tietotekniikan hyväksikäyttö on suunnittelijoilla oltava hallussaan.

Tekniikan puolella tulee ensiksi vastaan '2E', 'engine technology and electronics'. Moottori on ajoneuvon tai työkonteen sydän ja elektroniikka sen aivot, joilla polttonesteen kulutus ja pakokaasupäästöt pidetään kurissa. Materiaalitekniikkaa tuo elektroniikkakin pohjimmiltaan on. '3P'-tekijät ovat 'propulsion, power transmission, packaging'. Propulsio tarkoittaa koneen liikkumiseen tarvittavaa teknologiaa. Polttomoottori-, kaasuturpiini-, sähkö- tai yhdistelmäkäyttö ovat tämänpäivän mahdollisuuksia. Kukin propulsiolaji vaatii omanlaistaan tekniikkaa moottorin tehon siirtämiseksi ajo- sekä työkonestoon. 'Packaging' eli paketointi on kaiken tarvittavan sijoittamista sen lisäksi, että tilaa on sopivasti oltava myös matkustajille, työkoneteollisuudessa myös työläitelle, kuorman kantamiselle ja käsittelylle.

'2W' tulee käsitteistä 'working conditions + work safety'. Jo kauan on merkittävimpiin kuuluvina suunnittelukohteina pidetty käyttäjän työolosuhteita, tehtävien rasittavuutta, melu- tai värinätasoa jne. Näissäkään ei työturvallisuudesta ole lupa tinkiä.

'2H' = 'hydraulics' eli hydraulitekniikan yleinen kehitys ja 'hydrotronics' eli hydraulisähköisten järjestelmien kehitys. Hydraulikka ei oloissamme toimisi ellei materiaalitekniikan tutkimuksen avulla olisi kehitetty esim. synteettisiä öljyjä lisäaineineen, valittu oikeita materiaaleja sopeuttamaan letkut, liittimet ja tiivisteet suuriin lämmönvaihteluihin, kovakromatut männänvarret jne. Työkonetekniikka on ollut painehydrauliikan edelläkävijä kaikkialla. Ensimmäinen hydraulivarusteinen tiehöylä on vuodelta 1936, henkilöautojen tekniikkaan hydraulikka tuli merkittävästi vasta Citroën DS:n mukana 1955 ja samoihin aikoihin myös Finnain rinkin käyttämiin Caravelleihin. Tänään hydraulikan ohjaus hyödyntää mm. elektroniikan CAN-väyliä.

'2T' termin taustalla ovat 'tyres and telematics', rengastekniikka ja telematiikka. Ajoneuvot ja työkonet ovat jo pitkään olleet lähes yksinomaan kumipyöräisiä. Rengastekniikka on mielenkiintoinen, mutta vaikea materiaalitekniikan, erityisesti polymeerikemian, sekä ajodynamiikan värehtely- ja voimailmiöiden kenttä, jonka merkittävää osaamista maassamme myös on. Telematiikan avulla puolestaan voidaan mm. työkoneteollisuuden valvonnassa saavuttaa uusia ulottuvuuksia, kuljettajan työviihtyvyydestä puhumattakaan.

Symboli 'D' viittaa käsitteeseen 'durability assessment' eli kestävyysuunnitteluun. Tarkkamittaisten komponenttien väsymissuunnittelussa tullaan yleensä toimeen perinteisillä lähestymistavoilla, mutta esimerkiksi valmistuksessa syntyviä muoto- ja materiaalisuunnittelun sisäisiä hitsatuissa, moniakselisesti ja monivaiheisesti kuormitettavissa ajoneuvorakenteissa luotettava kestävyysuunnittelu edellyttää uusien keinojen ennakkoluulotonta käyttöönottoa. Esitäntkin vakavasti harkittavaksi perehtymistä TKK:n auto- ja työkonetekniikan piirissä 1980- ja 1990-luvuilla kehittyneeseen KESUME-menetelyyn, jonka avulla on mahdollista kriittisten kohtien todellisiin venymätilanteisiin ja kuormituskertymiin perustuva luotettava kestävyys/keventämisarviointi.

Lopuksi on vielä '3M' eli 'manufacturing, mechatronics, materials technology'. Valmistus edellyttää hyvää materiaalitekniikkaa osaamista. Mekatronikka on mekaanisten laitteiden sähköistä/elektronista ohjaamista, jota ilman tämänpäivän työkoneteollisuus ei enää kellekään kelpaisi. Viimeisen termin olen alleviivannut siksi, että materiaalitekniikka on kaiken yhteinen nimittäjä. Onneksi meillä on sen syvällistä osaamista mitä erilaisimmilla tutkimuksen ja teollisuuden aloilla, eikä suinkaan vain ns. high-tech'issä.

Arovoisa lukija! Edelläesitettyllä olen koettanut johdattaa ajoneuvojen ja työkoneteollisuuden suunnittelun kiehtovaan maailmaan ja osoittaa kuinka kiinteästi materiaalitekniikka siihen liittyy. Paljon muutakin toki tarvitaan menestyksen takeeksi. Esimerkiksi dynaamisesti rasitettujen koneiden kestävyys/keventämisen suunnittelussa näyttää suunnittelijoille erityisesti olevan haasteita. Uskon vakaasti, että suomalaisessa ajoneuvo- ja työkoneteollisuudessa riittää tulevaisuudessakin töitä niin materiaalitieteilijöille kuin myös -tieteilijöille, samoin konstruktööreille ja lujuusoppineille. ▀

Lehtosen suku yhdistetään suomalaisissa teollisuuspiireissä valimotoimintaan. Runsaassa kahdessa-kymmenessä vuodessa perheyriksen Suomivalimon ympärille on kasvanut kansainvälinen konepajakonserni. Componentan toimitusjohtaja ja pääomistaja on Heikki Lehtonen, neljännen sukupolven valimoyrittäjä.



Teksti ja henkilökuvat: Bo-Eric Forstén

# Componenta löytämässä muotojaan

Heikki Lehtonen on yritysostojen ja rohkeiden rakennejärjestelyjen kautta luonut perheyhtiölle aivan uuden yrityskuvan. Muutosprosessi tosin alkoi jo ennen hänen toimitusjohtajuuskauttaan, mutta hänen komennossaan kuviot ovat vaihtuneet ripeään tahtiin. Heikin isoisänisä *Matti Lehtonen* perusti Rauta- ja Metallivalimo Suomen vuonna 1918. Nimi vaihtui sittemmin Suomivalimoksi. Yhtiön lähtiessä kasvun tielle siitä tuli ensin JOT-yhtiöt. Sen jälkeen seurasi Santasalo-JOT ja nykyisen nimensä konserni sai vuonna 1999.

Componentan toimintavuotta 2004 värittivät iso yrityskauppa ja rankat rakennejärjestelyt. Vuoden alussa Componenta osti osake-enemmistön (55%) hollantilaisessa valimoyrityksessä De Globessa. Kaupan myötä konsernin muutenkin kasvaneeseen liikevaihtoon tuli 109,4 miljoonan euron lisäys. Liikevaihtoa kertyi 316,1 miljoonaa euroa, kun vastaava luku edellisellä vuonna oli 177,8 miljoonaa euroa. Enemmän julkisuutta Componentalle toi kuitenkin Alvestan valimon sulkeminen Ruotsissa ja sen toiminnan siirtäminen Karkkilaan. Vastaavanlainen operaatio toteutettiin myös Hollanissa, jossa Bel-feldissä toimiva valimo suljettiin ja sen

tuotanto siirrettiin Herlenissä sijaitsevaan Hoensbrugin valimoon.

Asetimme toimitusjohtaja Heikki Lehtoselle kysymyssarjan, jonka avulla pyrimme luomaan kuvan yritysjohtajuuden arjesta ja ihanuudesta.

## Miten Componenta voi tällä hetkellä?

*HL:* Melko hyvin. Viime vuoden aikana taloudellinen tulos lähti lupaavaan kasvuun. Tosin valimoromun erittäin jyrkkä ja nopea hinnannousu aiheutti meille harmia parin miljoonan euron ylimääräisten kustannusten muodossa. Kaikki merkit viittaavat kuitenkin siihen, että kasvu jatkuu. De Globen oston myötä olemme merkittävästi vahvistaneet asemaamme raskaiden kuorma-autojen valmistajien ja off-road työkoneneiden valmistajien toimittajina. Valimotoimintojen keskittäminen parantaa kustannustehokkuuttamme. Saamme siitä täyden hyödyn viimeistään silloin kun kohu Alvestan lopettamisen ympärillä laantuu.

## Konsernissa on edelleen kuusi valimoa, neljä Suomessa ja kaksi Hollanissa, onko se sopiva määrä?

*HL:* Asiakkaittemme palvelemiseen tarvitaan erilaisia prosesseja. Autote-

ollisuuden sarjat ovat 5000-50 000, ja kappaleen keskipaino niissä on noin 20 kiloa. Työkoneiden valmistajien kohdalla puhutaan 1000-10 000 kappaleen sarjoista ja valukappaleen keskipaino on 100 kiloa. De Globen ja suomalaisten valimoiden yhteistyön kautta pyrimme varmistumaan, ettei toimituksiin tule odottamattomia katkoja. Hoensbroekin valimo toimii parina Porin valimon kanssa ja Weertin Karkkilan kanssa. Parin kummallakin valimolla on käytössään samanlaiset työkalut ja ne pystyvät toimimaan toistensa backup'ina. Konsernin rakenne alkaa olla tasapainossa.

## Konserniyritysten ja osakkuusyritysten joukossa on pieniäkin yksiköitä. Miten se on sopuisuudessa tehokkuuden kanssa?

*HL:* On punnittava erikoistumisen ja pienten yksiköiden yhdistämisen välillä. Erikoistumisesta pidämme kiinni. Osakkuusyhtiömme Ulefos on hyvä esimerkki siitä mitä erikoistumisella voidaan saavuttaa. Kun meidän Niemen valimomme liitettiin Ulefos AS:ään vuonna 1999, norjalaisen valimon valmistusohjelmassa oli sekä komponentteja autoteollisuudelle että kaivonkan-



sia. Mekin valmistimme kaivonkansia. Siirsimme kaivonkantemme Ulefosille ja saimme tilalle heidän komponenttituotantonsa. Tänäpä Ulefosin Harjavallan yksikkö valmistaa 60 hengen miehityksellä 12 000 tonnia kaivonkansia vuodessa. Vastaavaan komponenttimäärän valmistukseen tarvittaisiin 120 miestä.

### **Eikö logistiikasta tule aika monimutkainen kun on niin monta tuotantoyksikköä?**

*HL:* Logistiikkaan on panostettu ja toimintalinjat ovat hioutuneet hyvinkin tehokkaiksi. Olemme keskittäneet koneistuksen ja pintakäsittelyn Ruotsin Främestadiin. Valut Karkkilasta, Porista ja Pietarsaaresta viimeistellään siellä. Toimitus asiakkaalle tapahtuu Främestadista.

### **Toimiiko systeemi?**

*HL:* Viime vuonna oli täysi höyry päällä alusta loppuun. Silti Främestadin toimitusvarmuus oli 98% päivän tarkkuudella mitattuna.

### **Mitkä ovat Komponentan valtit kansainvälisessä kilpailussa?**

*HL:* Olemme määrätietoisesti kehittäneet toimintaamme myös liiketoiminnallisista lähtökohdista, kun keskieuropplaisiset kilpailijamme edelleen laittavat pääpainon tuotannollisiin ja teknisiin seikkoihin. Siellä perinteet painavat ja tuotanto käy yleensä kahdessa vuorossa. Me olemme systemaattisesti nostaneet käyttöaikaa ja toimimme melkein joka paikassa kolmessa tai neljässä vuorossa. Toinen ero on siinä, että me näemme itsemme asennusvalmiin komponentin valmistajana eikä pelkästään valukappaleen toimittajana.

### **Miten se näkyy toiminnassa?**

*HL:* Valaminen ja sen ymmärtäminen ovat toimintamme perustana, mutta panostamme voimakkaasti myös jatkojalostukseen. Meillä on oma koneistus ja pintakäsittely. Främestadissa, Ruotsissa, investoimme parhaillaan 5 miljoonaa euroa uuteen elektrolyyttiseen pintakäsittelylinjaan.

### **Miten asiakkaat ovat tämän ottaneet vastaan?**

*HL:* Asiakkaiden tarpeistahan kaikki on lähtenyt. Toimituksistamme kuorma-autoteollisuudelle 80 prosenttia on tänään valmiita komponentteja. Asiakkaat ovat siirtäneet meille sellaista mitä

he ennen tekivät itse. Vastaamme yhä vaativampien kokonaisuuksien toimitamisesta. Arvokasta vetoapua olemme saaneet Volvolla ja Scaniaalta. Kaikki mitä Volvolle tänään toimitamme on jatkojalostettua. Scania on samalla linjalla. Keskieurooppalaisista asiakkaitamme Mercedes ja DAF seuraavat perässä. MAN hoitaa edelleen suurimman osan jatkojalostuksesta itse.

### **Miten kauppoihin pääsee kiinni?**

*HL:* Jos tyytyisimme laatimaan tarjouksemme täsmällisesti sen mukaan mitä asiakas on pyytänyt, moni kauppa jäisi saamatta. Usein on niin, ettei asiakas tarkkaan tiedä mitä hän tarvitsee. Kyselyssä voi olla mukana turhia asioita, jotka aiheuttavat ylimääräisiä kustannuksia. Analysoimme jokaisen isomman kyselyn ja teemme osaamisemme ja kokemuksemme pohjalta oman



ehdotuksen.

Tämän ns. "tuotekritiikin" avulla päästään huomattaviin säästöihin kokonaiskustannuksissa. Asiakkaan kiinnostus yleensä herää kun korjattu hinta saattaa olla 15 prosenttia alkuperäistä edullisempi.

### **Käyttävätkö asiakkaat tätä palvelua hyväksi?**

*HL:* Pisimmälle tämä järjestelmä on viety De Globen yhteistyössä Caterpillarin kanssa. De Globella on seitsemän suunnittelijan erikoistimi, joka miettii uusia tuoteratkaisuja Caterpillarille. Kysymys on hitsattujen komponenttien korvaamisesta valulla. Valun edut tulevat parhaiten esille tuotteissa, joissa on monimutkaisia muotoja. Sellaisia osia on paljon off-road koneissa.

**Takominen koetaan joissakin tuotteissa valamisen vaihtoehdoksi valmistusmenetelmänä. Wirsbon takomot kuuluvat Componentalle. Miten tako-**

### **mot sopivat teidän toimintaanne?**

*HL:* Ennen takeet ja valut kilpailivat laajallakin rintamalla keskenään. Tänäpä valimoiden ja takomoiden välillä on kuitenkin selvä tehtävänjako. Tuotteen käyttötarkoitusta ratkaisee. Meillä on tosiaan omat takomot, mutta ne eivät kuulu meidän ydintoimintaamme.

### **Mitä se tarkoittaa?**

*HL:* Pohjoismaisessa takomoteollisuudessa tarvittaisiin samanlaista voimien kokoamista kuin mitä me olemme saaneet aikaan valimopuolella. Se ei ole meidän aluettamme eivätkä meidän resurssimme siihen riittä. Olemme kuitenkin valmiita osallistumaan tähän strukturointityöhön, jos yhteistyöpartnereita löytyy.

### **Mikä sai perheyhtiön alkujaan valitsemaan kasvamisstrategian?**

*HL:* Yhtiöön oli vuosien aikana kerääntynyt huomattava pesämunna. Meitä oli kuitenkin kolme veljeä sitä vastaanottamassa. Molemmat veljeni, Ari ja Antti ovat metallurgeja, Antti sen lisäksi kauppatieteiden maisteri. Itse olen TKK:n ensimmäisiä valimoinsinöörejä materiaalitieteiden osastolta. Kou-

lutusta oli paljon firman kokoon nähden. Vaihtoehtona oli joko myydä tai saada yritys kasvamaan.

### **Itse olet tänään konsernin toimitusjohtaja, miten veljesi on käynyt?**

*HL:* Vanhin veljeni myi osuutensa vuonna 1993 ja muutti USA:han. Antti vastaa yhtiön liiketoiminta-alueesta "Muu liiketoiminta".

### **Mikä on ollut laajentamisen päämääränä?**

*HL:* Luoda yhtiön valuosaamisen pohjalle kansainvälisesti kilpailukyinen, teollisuuden eri aloja palveleva komponentinvalmistaja.

### **Miten tavoite on toteutunut?**

*HL:* Mielestäni kohtalaisen hyvin. Yritysoitojen ja strukturoinnin kautta yhtiö kilpailee tänään aivan eri luokassa kuin 25 vuotta sitten. Koko Suomen valimoteollisuus on kokenut voimakkaan rakennemuutoksen. Yksikköjä ja tuotantolinjoja on yhdistelty uuden kokoluokan kokonaisuuksiksi. ■■



# Toimitus- johtaja ja pääomistaja

Heikki Lehtonen on Componentan toimitusjohtaja ja sen lisäksi hän pystyy yhtiön pääomistajana, 38,24 prosentin omistusosuutensa turvin, pitkälti ohjaamaan yhtiön toimintaa. Paperilla perheyhtiön johtamismalli saattaa tuntua oudolta.

Yhtiön hallitus valvoo toimitusjohtaja Lehtosen tekemisiä ja vastaa omasta toiminnastaan pääomistaja Lehtoselle. Vastaavasti malli vaatii Heikki Lehtoselta melkoista mukautumiskykyä. Toimitusjohtajana hän valmistelelee ja tuo asioita hallituksen käsiteltäväksi. Sen jälkeen hän omistajana arvioi miten hallitus työskentelyssään on onnistunut.

"Käytännössä malli toimii hyvin. Hallituksesta minulla on arvokasta tukea sekä toimitusjohtajana että omistajana. Tärkeintä on, etten sekoita näitä rooleja keskenään. Kuten laki ja pörs-

sietikka edellyttävät hallitus pystyy täysin riippumattomaan toimintaan. Sen jäsenillä, minua lukuun ottamatta, ei ole taloudellisia eikä muitakaan riippuvuussuhteita yhtiöön. Se koostuu osaavista ihmisistä, joilla on laaja kokemus bisneksen teosta. He eivät epäröi tuoda mielipiteitään julki. Välillä he painavat kaasua ja välillä jarrua", toteaa toimitusjohtaja Lehtonen.

Toimitusjohtajalle yhtiön johtoryhmä on toinen tärkeä yhteistyöelin.

"Johtoryhmässä ideat syntyvät ja niitä muokataan. Paljon puhuttu ratkaisu koskien Alvestan ja Karkkilan valimoiden toimintojen yhdistämistä syntyi johtoryhmän tuumatalkoissa Lapissa vuonna 2003. Keksimme miten Alvestan koneet saataisiin sijoitettua Karkkilaan. Se oli hyvä päätös. Kahden kannattamattoman toiminnan tilalle saatiin yksi kannattava".

Heikki Lehtonen huomauttaa, että Suomen joustavimmat työmarkkinat puhuvat tällaisissa ratkaisuissa Suomen puolesta.

"Ruotsissa työnantajalle ei ole vaihtoehtoja. Vaikka olisi töitä vaan neljäksi työpäiväksi palkat on maksettava täydestä viikosta. Lomautuksia ei tunneta. Joko sanotaan irti tai sitten ei".

Hän antaa muutenkin tunnustuksen Suomessa tapahtuneelle asenteiden muutoksesta.

"Kaksikymmentä vuotta sitten törmäsi harva se päivä yrittäjäkielteisyyteen. Nyt ainakin PK-yrityksistä puhutaan myönteiseen sävyyn".

Hän pitää valtiovallan päätöstä luopua varallisuusveron perimisestä askeleena oikeaan suuntaan.

"Rikastuminen hyväksytään näköjään ainakin osittain. Ammattiyhdistysliikkeelle kuuluu tunnustus järkevästä suhtautumisesta. Heidän lähtökohtansa mukaan todennäköisyys, että suomalainen kapitalisti sijoittaisi rahansa suomalaisen yhteiskunnan hyväksi, on suurempi kuin se, että maan ulkopuolelta tulleet sijoittajat sen tekevät".

Heikki Lehtonen on julkisuudessa suoraan sanonut ja omalla toiminnallaan osoittanut mitä hän ajattelee uudesta osinkoverotussysteemistä.

"Selvä virhepäätös, johon tarvitaan korjausta. On aivan käsittämätöntä luoda niin epäselvä ja vaikeasti hallittava systeemi. Viiden prosentin osinkovero kaikille olisi ollut selkeä ja yksinkertainen ratkaisu. Suomessa maksetaan osinkoa yhteensä 2 miljardia euroa vuodessa. 5 % siitä on 100 miljoonaa



euroa eli sama summa mihin nyt monimutkaisen ja vaikeaselkoisen systeemin avulla tähdätään”.

Kysymme omistaja Lehtoselta miltä tuntuu läheltä seurata kuinka tavallaan omat rahat laitetaan likoon erisuuruksina määrinä erilaisiin tarkoituksiin.

”Kun yhtiön budjetti on 316 miljoonaa euroa, on selvää, että jonkinlaista vauhtisokeutta esiintyy välillä. Joskus saattaa kuulla, että 'eihän 300 000 euroa ole mikään iso raha'. Silloin tekee mieli sanoa että kyllä se vaan on. En ole kuitenkaan koskaan kokenut omistajanrooliani mitenkään negatiivisena asiana kanssakäymisessä työtoverieni kanssa”.

Heikki Lehtonen painottaa, että yrittämisessä riskit ovat aina olemassa, mutta että ilman riskinottoa ei synny tulosta.

”Riskit on hallittava, kaikkea ei saa panna likoon”.

Itse hän sanoo kasvaneensa pikkupojasta lähtien yrittämiseen.

Kysymyksen miten hän näkee Componentan tulevaisuuden perheyrityksenä, Heikki Lehtonen toteaa, että esisien perintö luo tietenkin paineita

”Vielä on liian aikaista sanoa mitä omat lapseni tulevat tekemään, tytär on 16 ja poika 13. Minun tehtäväni on luoda heille edellytykset tehtävän jatkamiselle. Päätös pitää kuitenkin olla heidän omansa. Ainakin he ovat huomanneet, että yrittäjän elämä ei ole pelkkää olemista. Isä on paljon töissä. Toivottavasti he ovat oppineet, ettei raha tule itsestään, vaan sen eteen on tehtävä työtä”.

▲

*Pintakäsittelyä Componentan Karkkilan tehtaalla. Kuva Componenta*



# COMPONENTA



Componentan valimot ja konepajat ovat erikoistuneet erikokoisten kappaleiden valamiseen, jälkikäsitelyyn, koneistamiseen ja pintakäsittelyyn. Konsernilla on Suomessa neljä valimoa ja Hollannissa kaksi. Konepajoja on yhteensä kuusi, kolme Suomessa ja kolme Ruotsissa.

Näiden lisäksi konserniin kuuluvat Ruotsissa raskasta kuorma-auto-teollisuutta palveleva Componenta Wirsbon takomo ja männänvalmistaja Componenta Pistons. Hollannissa GPV (Globe Pressure Vessels) kookaa paineilmakompressoreita mm. rakennusteollisuutta varten.

## Valimot

**Componenta Karkkila**, vuosikapasiteetti 30 000 tonnia, valujen kokoluokka 25-150 kg, sarjat 100-100 000 kpl/vuosi, henkilöstö 200 henkeä.

**Componenta Pietarsaari**, 20 000 t/vuosi, 0,4-15 kg, 1 000-1 000 000 kpl/vuosi, 180 henkeä.

**Componenta Pori**, 20 000 t/vuosi, 5-40 kg, 100-100 000 kpl/vuosi, 220 henkeä.

**Componenta Suomivalimo**, Iisalmi, 11 500 t/v, 200-5000 kg, alle 1000 kpl/v, 130 henkeä.

**Globe Herlen**, 45 000 t/vuosi,

10-120 kg, 250-50 000 kpl/v ja 200 – 2000kg, 25 – 4000 kpl/v, 375 henkeä.

**Globe Weert**, 35 000 t/vuosi, 50-250 kg, 100-25 000 kpl/v, 280 henkeä.

## Konepajat

**Componenta Främmestad**, Nossebro, Ruotsi, koneistaa ja pintakäsittelee konsernin valimoista tulevia valukomponentteja lähinnä raskaalle ajoneuvoteollisuudelle, 170 henkeä.

**Componenta Albion**, Kristinehamn, Ruotsi, on erikoistunut komponenttien tarkkaan hammersukseen, 130 henkeä.

**Componenta Ämål**, Ruotsi, koneistaa ja pintakäsittelee valukomponentteja raskaalle ajoneuvo- ja off-road -teollisuudelle, 80 henkeä.

**Componenta Mek Pietarsaari** koneistaa Pietarsaaren valimon valukomponentteja sarjakoosta 1 000 kpl/v ylöspäin, 80 henkeä.

**Componenta Mek Pori** koneistaa Porin valimon valukomponentteja, 10 henkeä.

**Componenta Nisamo**, Lempäälä, koneistaa Suomivalimon toimittamia suurikokoisia komponentteja koneenrakennusteollisuutta sekä voimantuotanto- ja voimansiirtoteollisuutta varten, 55 henkeä.▲

## Componenta Oyj:n hallitus

DI Heikki Bergholm,  
puheenjohtaja, asianajaja  
Juhani Mäkinen, ekonomi  
Matti Tikkakoski, toimitusjohtaja  
Marjo Raitavuo ja  
DI Heikki Lehtonen.▲

Vesa Ollilainen, Imatra Steel Oy Ab, Imatran terästehtä



**TKT Vesa Ollilainen** on Imatra Steelin Imatran terästehtaan kehitysosaston päällikkö. Aikaisemmin Valmet Oy:ssä. Imatralla vuodesta 1970. Kehittänyt teräksiä autoteollisuuden kanssa kolmen vuosikymmenen ajan.

# Kokemuksia terästen kehittämisestä auto-teollisuuden kanssa

## IMATRAN TERÄSTEHDAS JA AUTOTEOLLISUUS

Imatra Steelin keskeisimpiä toiminta-ajatuksia on tuotteiden kehittäminen yhteistyössä asiakkaiden kanssa. Tavoitteena on paitsi oman kannattavuuden myös asiakkaan kilpailukyvyyn parantaminen. Imatra Steelin Imatran terästehtas valmistaa niukkaseosteisia teräksiä ainoastaan tankoina. Näille ensimmäinen työvaihe on useimmiten taonta, koko valmistusketjun sisältäessä useita eri vaiheita, **kuva 1**.

Autoteollisuus on Imatralla elintärkeä sektori, koska se muodostaa koko toimitusmäärästä yli puolet. On huoma-

mattava, että henkilöautot ja kuorma-autot edustavat eri markkinoita, vaikka ovatkin teknisesti samankaltaisia. Edellinen on luonteeltaan kulutustuote ja jälkimmäinen investointihyödyke. Suurten toimitusvolyyymien johdosta autoteollisuus kiinnostaa kaikkia muitakin teräksen valmistajia. Näin ollen kummatkin markkinat ovat erittäin kilpailuttuja, mikä näkyy tiukkoina vaatimuksina toimitusvarmuudelle, laadulle ja hinnalle.

Imatran asiakkaina on käytännöllisesti katsoen koko Länsi-Euroopan autoteollisuus. Suoria autoteollisuusasiakkaita on tosin an harvoja, sillä suurin osa teräksestä kulkeutuu autoi-

hin takomoiden, osanvalmistajien tai järjestelmänvalmistajien muodostaman toimitusverkoston kautta. Imatralla tärkeimmät järjestelmät ovat moottori, voimansiirto, pyörän ripustus ja ohjaus, **kuva 2**.

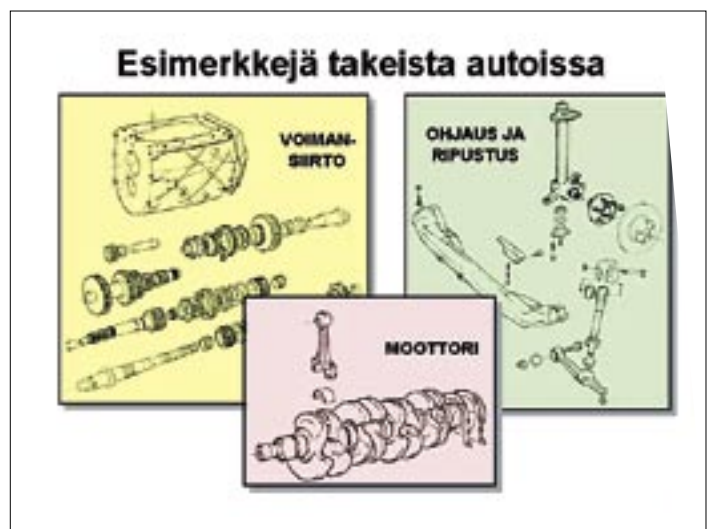
## AUTOTEOLLISUUDEN KEHITYSTRENDEJÄ

Kaiken lähtökohtana on asiakkaan tarpeiden ymmärtäminen, eikä pelkästään nykyisten, vaan myös tulevien. Seuraavassa esitetyt kehityssuunnat perustuvat pääasiassa keskusteluihin autoteollisuuden edustajien kanssa, mutta yllättävän runsaasti relevanttia



**Kuva 1.** Tankoteräksen valmistusketju kokonaisuudessaan.

**Kuva 2.** Tankoteräksille tärkeimmät auton järjestelmät sekä esimerkkejä näissä käytetyistä takeista.





alan tietoa löytyy seuraamalla tavallisia päivälehtiä ja esimerkiksi Tekniikan Maailmaa.

## Halvemmat autot

### *Pohjalevytekniikka*

Täysin uuden automallin kehityskustannukset ovat suuret, puhutaan jopa miljardoista euroista. Pohjalevykonsepti on 90-luvulla mullistanut niin suunnittelun kuin valmistuksenkin. Samalle pohjalevyllä suunnitellaan nykyisin monia suunnilleen samankokoisia automalleja. Ennätys lienee VAG:lla, jossa Golfin pohjalevyllä on tehty seitsemää eri mallia ja samalla neljää eri automerkkiä. On selvää, että kustannukset alentuvat, koska vain osa autoa on tarpeen suunnitella uudestaan. Samalla valmistus halpenee, sillä tuotantolinjat standardisoituvat ja näinollen ovat helposti myös rakennettavissa eri maihin. Autojen myynnin kannalta pohjalevytekniikan suurena lisäetuna on myös suunnitteluajojen lyhentyminen, mikä on mahdollistanut uusien mallien suoltamisen markkinoille aikaisempaa tiheämmin. Uusi mallihan myy aluksi hyvin, mutta ellei mitään tehdä, vauhti yleensä hiipuu jo parin vuoden kuluttua.

### *Materiaalitekniikka*

Materiaalitekniikan avulla on mahdollista pienentää valmistuskustannuksia niin taonnassa kuin osan valmistuksessa, esimerkiksi käyttämällä taontalämpöä hyödyntäviä tai paremmin lastuttavia teräksiä. Näistä tarkemmin myöhemmin.

### *Ulkoistaminen*

Aikoinaan autotehdas, kuten Fiat, saattoi olla täysin integroitu sisältäen kaikki kuvan 1 mukaiset valmistustasot aina teräksen teosta alkaen. Jo jonkin aikaa suuntauksena on ollut liiketoimintojen eriyttäminen ja hankintojen ulkoistaminen, jolloin ääritapauksessa jokainen taso voi olla oma yhtiönsä. Tavoitteena tässä on luonnollisesti tehokkuuden parantaminen ja kustannusten alentaminen. Autotehtaat saattavat kuitenkin pitää itsellään strategiseksi katsomiaan osia tai järjestelmiä. Esimerkiksi PSA:lle tällaisia osia ovat alatukivarret, kampiakselit ja vaihdelaatikon osat, joiden suunnittelu ja mahdollisuuksien mukaan myös valmistus pidetään omilla käsissään.

Tärkeä muutos tapahtui 80- ja 90-luvuilla, kun USA:n kolme suurta au-

tontekijää ulkoisti järjestelmien valmistustaan. Syntyi uusia riippumattomia yhtiöitä, kuten Delphi ja Visteon. USA:n koko 90-luvun jatkunut taloudellinen nousukausi kasvatti firmojen pääomia, ja sikäläiset uudet ja vanhat systeemittekijät rynnistivät vuosittuuhannen lopulla joukolla Eurooppaan ostaen lukuisia yrityksiä. Riippumattomat järjestelmien valmistajat ovat tätä nykyä globaaleja yrityksiä, jotka voivat siirtää suunnitteluaan ja valmistustaan sinne, missä se on edullisinta. Siirtymistä näyttääkin tapahtuvan halvan palkkatason maihin, entiseen Itä-Eurooppaan ja mm. Intiaan.

Koko valmistusketjussa (kuva 1) teräs on lyhyimmän matkan tuote, koska rahtikustannusten osuus sen jalostusarvosta on suuri. Niinpä terästehdas ja takomo eivät voi sijaita kovin kaukana toisistaan. Taontaa on siirtymässä uusiin halvan palkan maihin, mikä on uhka paitsi Länsi-Euroopan takomoille myös sen terästeollisuudelle. Länsi-Euroopan takomot ovatkin tehostaneet toimintaansa hyödyntämällä suunnittelussa FEM-simulointia ja automatisoimalla tuotantoaan robotein. Eräs keino estää uhkan toteutumista on innovatiivinen yhteistyö eri valmistustasojen kanssa.

## Luotettavammat autot

Tarkentunut suunnittelu ja entistä tasalaatuuisemmat materiaalit ovat parantaneet autojen luotettavuutta. Toisaalta viimeaikainen elektroniikan ja tietotekniikan lisääntyminen autoissa on vienyt luotettavuutta taas huonompaan suuntaan.

## Saasteettomammat autot

Ehdottomasti tärkeimpiä kehitystarpeita autoissa on saasteettomuus, mikä merkitys kaiken aikaa voimistuu varsinkin, kun suuret Aasian maat ovat alkaneet autoistua.

### *Keveyemmät autot*

Nykytekniikassa voimakkaimmin pakokaasupäästöihin vaikuttava asia on polttoaineenkulutus. Tämän pienentämiseksi pyritään autojen painoa kaiken aikaa vähentämään. Autonvalmistajilla on ollut projekteja, joissa on läpikäyty satoja eri osia. Kunkin osan painoa on vähennetty edes hieman periaatteella ”pienistä puroista suuri joki”. Tässä on toisaalta onnistuttu, mutta samaan aikaan autoihin on tullut paljon uutta painoa, kuten erilaisia turvavahvisteita ja mukavuusvarusteita.

Lopputuloksena autojen painot ovat vain kasvaneet, vaikka itse ”perusauto” on keventynyt.

### *Hiljaisemmat autot*

Kilpailusivistä on autojen melusaastetta vähennetty ja pyritään edelleen vähentämään niin moottorista, voimansiirrosta kuin pyöristäkin. Myös EU:n lainsäädäntö tiukkenee melun suhteen vuosina 2007-2011. Melusaasteen vähentämiseksi äänieristysmateriaaleja saattaa nykyhenkilöautossa olla kymmeniä kiloja, mikä on ristiriidassa polttoaineenkulutuksen vähentämisen kanssa.

Voimansiirron ajomelun syynä ovat hiiletuspintakarkaisun sammutusvaiheessa tapahtuneet hammaspyörien muodonmuutokset. Kaasusammutus on uudempaa tekniikkaa, jossa vältetään nk. höyrykalvovaihe, mikä on suurimpia muodonmuutosten syitä. Näin päästään pienempiin muodonmuutoksiin ja melutasoon.

### *Dieselmoottorit*

Vaikka bensiinimoottorien kulutusta on onnistuttu vähentämään mm. suoraruikutuksella, selvästi pienempi kulutus on loppujen lopuksi dieselmoottorilla. Kun bensiinikoneen hyötysuhde on noin 30 %, on dieselin yli 40 %, ja nämä kehittyvät edelleen. Kun tämän hetken litratehot ovat 40-50 kW/l, niiden ennustetaan kohoavan lähivuosina 80-100 kW/l:iin. Koska pienemmästä paketista otetaan enemmän tehoa, syntyy materiaaleille uusia haasteita.

Viimeisen vuosikymmenen ajan dieselmoottorit ovat henkilöautoissa lisääntyneet, ja kaikki tähän mennessä laaditut ennusteet ovat ylittyneet. Vuonna 2005 Euroopassa dieselin osuus henkilöautoissa on jo 50 %, ja kasvun arvioidaan edelleenkin jatkuvan. Kehityssuunta on synnyttänyt käyttämätöntä bensiinimoottorien valmistuskapasiteettia. Tämä on vaikeasti muutettavissa dieseille, mikä on johdannut jopa tehtaiden sulkemiseen.

Vaikka diesel kuluttaa vähemmän öljyä ja näin pienentää osaltaan globaalia CO<sub>2</sub>-ongelmaa, se aiheuttaa omia saasteongelmia, joista ehkä tärkein ovat pienet, keuhkorakkulat läpäisevät partikkelit. Esimerkiksi Kaliforniassa suurimmaksi keuhkosyövän aiheuttajaksi on todettu diesel-saasteet. Päästö määräykset tiukentuvat dieselmoottoreille erittäin voimakkaasti vuosina 2005-2010 niin Euroopassa, USA:ssa kuin Japanissakin. Autoteollisuus on toistaiseksi raportoinut kykenevänsä

täyttämään uudet vaatimukset, mutta toisaalta vaihtoehtojakaan sillä ei ole.

### *Vetytekniikka*

Öljynkulutuksen kasvu ylitti uusi- en lähteiden löytymisvauhdin vuoden 2000 paikkeilla. Näyttää siltä, että tämä kehitys vain nopeutuu mm. Kiinan talouskasvun seurauksena. Ennemmin tai myöhemmin meillä kaikilla on edessä siirtyminen öljyä korvaaviin polttoaineisiin. Vahvin ehdokas on vety jo siitäkkin syystä, että sen käyttö on saasteetonta. Eräs vetytekniikan linja voi olla sen soveltaminen perinteiseen mäntämoottoriin, mitä mm. BMW tutkii, mutta tässä tyypen oksidit ovat ongelma.

Suurimmat panostukset tapahtuvat vetyä käyttävään polttokennotekniikkaan, jota kehittävätkin kaikki suurimmat autonvalmistajat. Tässä tekniikassa ei synny hiilidioksidia tai tyypen oksideja, vaan tuloksena on vettä ja sähköä. Myös USA:n hallitus rahoittaa polttokennotekniikkaa voimakkaalla panostuksella poliittisena tavoitteenaan öljyriippuvuuden vähentäminen. Polttokennotekniikan laajamittaisen soveltamisen infrastruktuureineen enustetaan tapahtuvan 2020-2025, mutta rohkeimmista arvioista puhutaan jo vuodesta 2015. Ja tähänhän ei ole enää kuin kymmenen vuotta!

### *Ohjaustekniikan kehitys*

Hydraulisessa ohjauksen tehostuksessa jo pelkän nestepaineen ylläpito kuluttaa polttoainetta. Niinpä tällä hetkellä on menossa siirtyminen hydraulisesta taloudellisempaan sähköiseen ohjaukseen. Tulevaisuuden näkymä on "drive by wire", jossa mekaaninen yhteys pyöriin puuttuu. Tähän liittyy turvallisuusriskejä, mitkä on ensin kyettävä poistamaan.

### **Turvallisemmat autot**

Systemaattinen kehitystyö ja erilaiset aktiiviset ja passiiviset turvavarusteet ovat huomattavasti parantaneet autojen turvallisuutta. Varusteiden lisääntyminen toisaalta lisää auton painoa ja polttoaineen kulutusta, mutta silti edelleen on voimassa vanha totuus, jonka mukaan yhteentörmäyksessä raskaampi auto on vahvemmalla.

### **Automaattisemmat ja mukavammat autot**

Automaattinen voimansiirto, mikä USA:ssa ja Kaukoidässä on normaali

käytäntö, on Euroopassa antanut odottaa itseään. Syitä tähän ovat olleet perinteisen momentinmuuntimen ja planeettapyörästön perustuvan automaattivaihteiston korkeampi hinta, suurempi paino ja huonompi hyötysuhde eli lisääntynyt polttoaineenkulutus. Tällä hetkellä voimakkaassa kehitysvaiheessa ovat sähköisesti ohjatut "automaattiset manuaalivaihteistot", esimerkiksi VW:n DSG, mitkä eivät kasvata kulutusta. Myös täysin portaaton CVT-vaihteisto on nostamassa päätään.

Mukavuusvarusteet, kuten automaattinen ilmastointi, ajotietokone, internetin hyödyntäminen ja GPS ovat tämän päivän tekniikkaa mutta merkittävät samalla painonnousua ja kulutuksen kasvua.

---

## **TERÄSTEOLLISUUDEN VASTAUKSIA AUTOTEOLLISUUDEN TARPEISIIN**

---

Materiaalitekniikan avulla on mahdollista pienentää auton osien valmistuskustannuksia tai/ja aikaansaada käyttöarvoltaan parempia järjestelmiä. On lähdeävä asiakkaan todellisesta tarpeesta. Jos esimerkiksi väsymislujuus on osan kriittinen ominaisuus, hauraampi ja ensisilmäyksellä "huonompi" mikroseosteräs on asiakkaalle halvempi ja näin parempi ratkaisu kuin perinteinen sitkeä norrutusteräs.

Seuraavissa tarkasteluissa rajoitetaan Imatran tuotesektoriin eli niukkaseosteisiin tankoteräksiin ja näiden soveltamiseen autoissa.

### **Teräksen valmistus**

#### *Mittatarkkuus*

Hyvä teräksen mittatarkkuus on ominaisuus, minkä teräksen käyttäjä voi hyödyntää suoraan materiaalin säästönä. Euroopassa suurimpien autoteollisuudelle toimittavien takomoiden vuosivolyymi on 100 000 tonnia, josta yhden prosentin säästö on painona jo 1 000 tonnia vuodessa. Esimerkiksi 100 mm tangon halkaisijalla tämä merkitsee vain noin 0,5 mm tiukennusta toleranssialueessa. Eräs ratkaisu tiukempiin mittatoleransseihin on Kocks-block valssauslinjan lopussa. Kokemus on kuitenkin osoittanut, että hyvällä valssausprosessin hallinnalla on mahdollista päästä lähes yhtä pieneen metripainon vaihteluun kuin Kocks-valssaimella.

Hyvällä mittatarkkuudella voidaan myös pienentää osien valmistuskustannuksia. Erityisesti, jos metripainon vaihtelu on pieni, takeet voidaan

suunnitella tarkemmin, mistä seuraa säästöjä mm. osien koneistuksessa. Te-hokkaimmillaan materiaalisäästö on silloin, kun käytetään muodonantajina purseettomia near net shape -menetelmiä, kuten kylmä- ja lämminmuovausta. Koska koko valmistusketjussa (kuva 1) suurin energiamäärä kulutetaan teräksenteossa, materiaalia säästävien muotoilumenetelmien yhteydessä on puhuttu "ympäristömyötäisestä valmistuksesta".

### *Sisärakenne*

Auton osien kevennystarve edellyttää entistä lujempia teräksiä. Tällöin kaikin puolin eheän sisärakenteen, kuten hyvän kuonapuhtauden, matalan vetytason sekä huokoisettoman ja suotautumattoman keskustarakenteen, merkitys näin lisääntyy.

Hyvä kuonapuhtaus on erityisen tärkeää väsytytkuormitetuissa pintakarkaistuissa osissa. Haasteena on hyvän kuonapuhtauden ja lastuttavuuden yhdistäminen samaan teräkseen. Japanissa tämän tavoitteen saavuttamiseksi on perinteisesti sovellettu kampiakseli- ja hammaspyöräteräksissä pientä lyijyseostusta yhdessä matalan happipitoisuuden kanssa. Tällaisen teräksen huono kierrätettävyys on kuitenkin kasvava ongelma. Muutamat autonvalmistajat, kuten Ford ja PSA, ovat jo kieläneet lyijytetyn teräksen käytön uusissa konstruktioissa. Ympäristömielessä parempi ratkaisu onkin sellainen kalsium-käsitelty teräs, jonka sulfidit ovat palloutettuja.

Keskustan rakenne on tärkeä jo senkin vuoksi, että suotaunut tai huokoinen keskiosa saattaa erittäin voimakkaassa kuumataonnassa virrata takeen pintaan aiheuttaen siihen vikoja. Huolimatta tehokkaastakin sulan vakuumikäsittelystä vety voi rikastua seosterästen keskustaan, ja synnyttää sinne "mikroflakeja". Näiden esto äärimmäisissä tapauksissa voi vaatia jopa teräksen hidastetun jäähtyksen.

Immersioultraäänimenetelmä on osoittautunut käyttökelpoiseksi nimenomaan teräksen keskustarakenteen kehitystyössä. Sen erotuskyky on muutama kymmenen mikrometrin suuruusluokkaa, mikä on selvästi parempi kuin tavanomaisen ultraäänimenetelmän. Toisaalta tutkittava materiaalitilavuus on tuhansia kuutiosenttimetrejä, mikä on valtavasti suurempi kuin millään hietarkasteluun perustuvalla kuonanalukumenetelmällä. Immersiomenetelmä perustuu kuitenkin ainetta rikko-vaan näytteenottoon eikä näin sovellu 100 %:n on-line -laadunvalvontaan.



## Muokkauslämpöä hyödyntävät teräkset

Tehokkaimpia keinoja osien valmistuskustannusten alentamiseen ovat taontalämmöstä hallitusti tapahtuvat ilmajäähdytykset, joilla erilliset lämpökäsittelyt, kuten nuorutus ja pehmeäksi hehkutus voidaan välttää.

Nuorutuksen eliminointi alkoi 70-luvun puolivälissä, jolloin Krupp korvasi VW:n kampiakselitakeissa seostamattoman nuorutusteräksen ilmassa jäähdytetyllä perliittis-ferrittisellä vanadiinilla mikroseostetulla teräksellä. 2000-luvulle tullessa nuorutusteräket ovat Euroopassa korvautuneet käytännöllisesti katsoen jo kaikissa henkilö- ja kuorma-autojen taotuissa osissa. Mikroseosterästen sitkeys on huonompi kuin nuorutetun teräksen, mutta käytännössä se on ollut kaikkiin taottuihin auton osiin riittävä. Kehitys USA:ssa on ollut hitaampaa, mihin eräänä syynä on ollut "Ralph Nader -syndrooma". Myöskään koneiteollisuudessa mikroseosteräket eivät ole yleistyneet, ainakaan vielä. Myös suoraan tangosta koneistettavat osat ovat mikroseosteräksille potentiaalinen kohde, jolloin taontalämmön sijasta hyödynnetäänkin valssaussäilyä.

Mikroseosterästen varsinainen ongelma ei ole pieni sitkeys vaan niiden alhainen lujuus, mikä estää niistä valmistettujen osien keventämistä. Ratkaisuja tähän ongelmaan tarjoavat Imatran lujat merkituotteet kuten suorassammutettava teräs IMAFORM® tai mikroseostettu IMAMIC®-teräs. Viimeksimainitun väsymislujuus on jopa 20 % parempi kuin tavanomaisten mikroseos- tai nuorutusterästen. Markkinoilla esiintyy myös lujia suoraan kuumataonnasta jäähdytettyjä bainiittisia teräksiä, mutta nämä vaativat verraten kalliin seostuksen, ja niiden käyttöön liittyy myös teknisiä ongelmia.

Hiiletyskarkaisuterästen suoraan pehmeäsihehkutusta toteutetaan jäähdyttämällä takokappaleet kuumataonnasta hidastetusti. Vaikka menetelmää käytetään tavallisille hiiletysteräksille, se voi aiheuttaa lopputuotteeseen tavallista karkeamman raekoon, minkä hienontaminen onkin eräs kehityksen haaste.

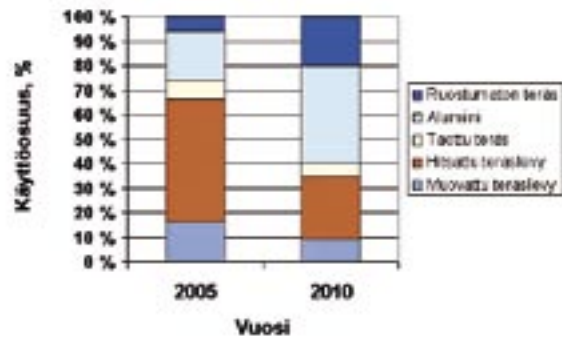
### Parempi lastuttavuus

Teräksen parempi lastuttavuus on tehokas keino erottua kilpailijoista, kun se kyetään toteuttamaan siten, että mekaanisia ominaisuuksia ei heikennetä. 80-luvun alusta lähtien Imatra Steel on tässä onnistunut brändituotteellaan M-teräksellä, minkä valmistuksessa

on hyödynnetty myrkyttömiä lastuttavuutta parantavia alkuaineita, kuten rikkiä ja kalsiumia. M-teräs on onnistunut esimerkki siitä, miten kovan teräksen lisäksi tuotteeseen on sisällytetty myös pehmeä palveluosa, jossa tunkeutumalla asiakkaan prosessiin autetaan käyttäjää lastuamisparametrien ja työkalujen optimoinnissa. Tällainen toiminta edellyttää asiakastukihenkilöiltä oikeantyyppistä kompetenssia, mm.

*Kuva 3. Eräs ennuste eri materiaalien käytön kehityksestä henkilöauton alatuksivarressa Auto Chassis Internationalin (ACI) mukaan. Lähde: Advanced Materials and Processes 6/2001.*

## Auton alatuksivarren materiaalit



omakohtaista lastuamiskokemusta.

Melko laajalti autoteollisuus käyttää lastuttavuuden parantamiseen ja sulfidien pallouttamiseen telluuriseostusta. Muita, joskin harvinaisempia lisäaineita ovat seleeni, lyijy ja vismutti. Kaikki mainitut aineet ovat kuitenkin enemmän tai vähemmän myrkyllisiä, ja on selvää, että pitkällä tähtäimellä niiden käyttö on syytä unohtaa. M-teräksen alkumenestyksen jälkeen 80-luvun puolivälissä näimme Imatralla selkeästi paremman lastuttavuuden suuren merkityksen liiketoiminnalle. Tuolloin pohdimme myös vakavasti japanilaismallisen pienen lyijyseostuksen käyttöä lastuttavuuden edelleen parantamiseksi. Nimenomaan ympäristöystävällisistä luovuimme kuitenkin ajatuksesta, ja aika on osoittanut päätöksen oikeaksi.

Viime vuosikymmeninä lastuavan työn työkaluissa on tapahtunut valtava parannus. Pikateräs on lähes kokonaan korvautunut pinnoitetuilla kovametalliterillä ja osittain myös vielä kovemmilla keraamityökaluilla. Kun vielä 80-luvulla taloudellisen lastuamisen enimmäiskovuus oli yleensä alle 300 HB, tänä päivänä se voi olla 400 HB.

### Osien keventäminen lujemmalla teräksillä

Kuten yllä olevasta käy ilmi, osien suunnittelussa voidaan käyttää aikaisempaa huomattavasti suurempia

laskentalujuuksia, koska lastuamisen taloudellisuus ei ole enää samanlainen rajoite kuin aikaisemmin. Korkeamman suunnittelujuuden antama osien kevennysmahdollisuus on haaste myös terästeollisuudelle, koska käyttäjän kannalta kevytmetallit ovat varteenotettava kilpaileva vaihtoehto, kuva 3. Kuvan mukaan taotun, niukkaseosteisen teräksen osuus alatuksivarressa vähenisi, mutta kannattaa huomata, että

kysymyksessä on vain yksi ennuste, mikä toteutumiseen tai toteutumattomuuteen vaikuttavat myös teräksenvalmistajien ja takojien omat ponnistelut.

Staatins lujisuuden noustessa, ongelmaksi muodostuu se, että teräksen loviherkkyys lisääntyy eikä väsymislujuus välttämättä kohoakaan. Tämän vuoksi esimerkiksi osan pinnansileyden on oltava riittävä hyvä. Myös erilaiset pintaa lujittavat käsittelyt kuten kuulapommitus, pintarullaus tai induktiopintakarkaisu auttavat parantamaan väsymislujuutta. Samoin teräksen sisärakenteen (kuonapuhkaus, vety, suotaumat, huokokset) on oltava entistä parempi kuten edellä on todettu.

### Taotut kampiakselit

Bensiinimoottoreiden kampiakselit ovat pääsääntöisesti valettuja, mutta suurempien rasiusten johdosta dieselmootoreissa ne ovat aina taottuja. Helposti on laskettavissa, että pelkästään henkilöautojen dieselmootorien kampiakselihin tarvitaan jo parisataatuhatta tonnia terästä vuodessa ja määrä kasvaa edelleen. Takomalla tehtyjen kampiakselien väitettään olevan lisäksi hiljaisempia kuin valettujen, mikä perustuu teräksen valurautaa suurempaan kimmoduuliin.

Tällä hetkellä dieseliin kampiakselimateriaalit ovat pääasiassa tavanomaisia mikroseosteräksiä. Litratehojen noustessa kampiakseliterästen

lujuusvaatimukset tulevat kasvamaan tulevaisuudessa ja tavanomaisten mikroosesterästen lujuudet eivät tule riittämään. Tarvitaan lujempia teräksiä, joiden kehitystyö parhaillaan onkin menossa.

### Kiertokanget

Kustannussyistä autoteollisuus on lähes totaalaisesti siirtynyt tekniikkaan, missä kiertokanget valmistuksessa alusilmukan alaosan erottaminen tehdään koneistuksen sijasta murtamalla. Menetelmä edellyttää riittävän haurasta ilmassa jäähdytettyä mikrooseostettua terästä. Samalla myös lujuudesta on tingitty verrattuna aikaisempaan tilanteeseen, jossa tavanomaiset nuorrutus- tai mikroosesteräkset olivat vallitsevia. Monet terästehtaat ovat patentoineet mahdolliset analyysialueet niin tarkkaan, että tunkeutuminen tälle alueelle uusilla koostumuksilla on vaikeata.

Voidaan kuitenkin ennustaa, että kiertokankiin saatetaan tulevaisuudessa tarvita myös lujempia teräksiä, koska edestakaisin liikkuvien osien keventäminen parantaa moottorin polttoainetaloutta. Ehkä jo lähitulevaisuudessa autoteollisuus saattaa etsiä uusia materiaaliratkaisuja ja on tarvittaessa valmis jopa luopumaan murrettavuudesta.

### Voimansiirron teräksien haasteet

Eräs vaativimpia niukkaseosten koneenrakennusterästen ryhmiä ovat voimansiirrosta käytettävät hiiletyskarkaisuteräkset. Kuten aikaisemmin on kerrottu, hiiletyskarkaisussa on yleistyessä kaasusammutus, jota yleensä käytetään yhdessä alipainehiiletysten kanssa. Tämä on teollisesti uusi menetelmä. Samaan aikaan autojen voimansiirron vääntömomentit ovat kasvaneet henkilöautojen dieselmoottoreiden ja ns. muskeli-autojen lisääntyessä. Vaihteiden luku on myös kasvussa, ja uudet kuusivaihteiset laatikot eivät saisi painaa enempää kuin vanhat viisivaihteiset. Lisäksi voimansiirtojärjestelmien valmistajilla on kustannussyistä haluja vähentää teräslajien määrää.

Yllä mainitut tekijät ovat luoneet tilanteen, mikä asettaa voimansiirron teräksille uusia haasteita, kuten entistä suuremmat vaatimukset niiden lujuudelle, sitkeydelle, kuonapuhautaudelle jne. On ilmeistä, että vanhoillakin teräksillä pärjättäisiin teknisesti, esimerkiksi siirtymällä runsaammin seostettuihin lajeihin, mutta kysymys on siitä, kuka pystyy taloudellisesti edullisimpiin ratkaisuihin. Sopivalla mikrooseostuksella tässä asiassa on paljon mahdollisuuksia.

Kehityshankkeita tällä alueella onkin käynnissä.

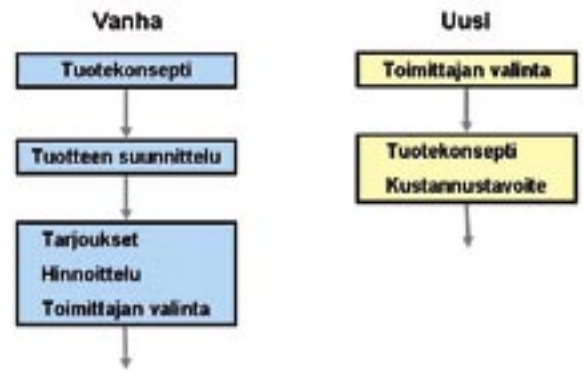
Hiiletysten ja kaasusammutuksen vaihtoehto on typetytys, jossa muodonmuutokset ovat olemattomat. Typetytyksessä tosin tapahtuu pieni mittojen

tuomittu epäonnistumaan viimeistään siinä vaiheessa, kun kaupan pitäisi alkaa. Näyttää kuitenkin siltä, että yllä mainitut perusasiat pyrkivät käytännön toiminnassa helposti unohtumaan.

Aikaisemmin autoteollisuus etsi yh-

**Kuva 4.**  
Autoteollisuuden käyttämiä toimintamalleja uusien ratkaisujen kehittämiseksi.

### Komponentin kehittämisvaiheet



yleinen kasvu, mutta tämä on täysin ennakoitavissa. Imatran IMANITE®-typetysteräs on ratkaisu, jota on jo käytetty dieselmoottoreiden hammaspyörissä, ja jota on suunniteltu kokeiltavaksi myös voimansiirrosta.

### TERÄSTEN TUOTEKEHITYKSESTÄ

Terästen tuotekehitystyössä on tiedostettava valmistusketju kokonaisuudessaan (kuva 1). Eriyksen tärkeää on kolmen ensimmäisen tason, teräksen valmistuksen, taonnan ja osanvalmistuksen, tekninen hallinta. Vaikka kukin kehityshanke on yksilöllinen, tällaisessa työskentelyssä voidaan nähdä joitain yhteisiä piirteitä, mitkä ovat vaikuttaneet onnistumiseen. Epäonnistumisiakaan kehitystyössä ei pidä kohutuuttomasti pelätä; jos perusasiat ovat kunnossa vastoinkäyminen saattaa olla alkuna menestykseen.

### Kumppanuus

Toimittajan ja asiakkaan kesken tuotekohtaisia yhteisprojekteja voidaan käynnistää ilman suurempia sopimuksia, vaikka vähintään luottamus- ja sopimussopimus kannattaa aina tehdä. Luonnollisesti yritysten johdon on aina oltava tietoisia hankkeesta ja myös sitouduttava siihen. Asiakasyrityksen osto- ja toimittajayrityksen myyntiorganisaatioiden sitoutuminen on myös onnistumisen edellytys. Ellei näin toimita, teknisesti loistavakin hanke on

teistyökumppanin tiettyyn hankkeeseen. Nykyisen ajattelun mukaan autoteollisuus pyrkii toimittajistaan ensin valitsemaan T & K -yhteistyökumppanit, joiden kanssa ryhdytään sitten yhdessä kehittämään uusia ratkaisuja,

kuva 4.

### Kumppanuussopimus

Valikoitujen toimittajien kanssa autoteollisuus tekee varsinaisen T & K -kumppanuussopimuksen. Ensimmäisenä valintakriteerinä on ongelmaton toimitushistoria, jolloin toimittajan tuotelaadun, toimitusvarmuuden ja kustannuskilpailukyvyyn on oltava kunnossa. Mikäli näissä on vaikeuksia, on turha puhua yhteisestä tuotekehityksestä. Lopullinen valintaperuste on kuitenkin toimittajan innovatiivisuus. Tavoitteenahan autoteollisuudella on löytää uusia parempia tai halvempia ratkaisuja eli innovaatioita. Vaa'assa painaa myös itse kehitystyön jo osoitettu laadukkuus, kuten tekninen osaaminen, aktiivisuus ja sovitusta asioista kiinnipitäminen.

Kumppanuus- tai yhteistyösopimus sisältää tavallisesti yleisen osan katkaen kaikille hankkeille yhteiset asiat, kuten kalassapidon, tulosten omistusoikeudet, julkistamiskäytännöt ja immateriaalioikeudet. Projektikohtaisesti sovitaan lisäksi muista asioista, kuten teknisistä tavoitteista, toimenpiteistä ja vastuista samoin kuin hinnan ja määrien kehityksestä varsinaisen tuotannon ensimmäisinä vuosina. Tavallisesti hin-



ta sovitaan aluksi korkeammaksi, koska toimittajan on saatava takaisinmaksu kehityspanoksestaan, mutta oppimiskäyrän myötä valmistuskustannusten tulisi pienentyä ja hinnan alentua.

Kumppanuussopimusten merkitystä ei pidä aliarvioida, sillä ne eivät ole pelkästään juridisia papereita vaan molempipuolisia tahdonilmaisuja pitkän tähtäimen sitoutumisesta.

### Immateriaalioikeudet

Immateriaalioikeudet ovat tärkeä ja olennainen osa kehitystyötä. Koska autoteollisuudella on pääsääntöisesti oltava myös vähintään yksi vaihtoehtotoimittaja, on väitetty, ettei teräsvalmistajan kannattaisi patentoida uusia tuotteitaan. Tämä on täysin väärä ajattelutapa. Koska patentti suojaa tuotteen kilpailijoilta, se suojaa myös sen hinnan. Vaihtoehtotoimittajan rooli on hoidettavissa sopimuksin. Tosin joskus kuulee myös sanottavan, että sopimukset eivät tuota, sitovat vain resursseja. Näin ei ole, vaan älykkäästi tehty sopimus antaa mahdollisuuden liiketoimintaa parantavaan ratkaisuun. Patentin haltijalla on kortit käsissään, näiden arvo on vain osattava arvioida oikein. On sanomattakin selvää, että lopullisen sopimuksen laatii sopimusoikeuteen perehtynyt juristi, mutta perusajatuksien on lähdeittävä liiketoiminnan lähdekohdista. Hyvän sopimuksen teko vaatii luovaa panosta.

### Projektityöstä

Kehitystyö voi olla luonteeltaan pienimuotoisempaa parantelua tai hyppäyksellisempää, täysin uuden tuotteen kehittämistä, **kuva 5**. Kaikkiaan uuden

tuotteen kehitys voi olla hyvin pitkäaikainen prosessi sisältäen monenlaisia vaiheita, joista **kuvassa 6** on yksi näkemys. Alkuvaiheessa, etenkin jos ajatus on todella poikkeuksellinen, prosessi voi välillä olla pitkiäkin aikoja pysähdyksissä ennen kuin se pyörähtää taas käyntiin. Tällöin puhutaan inkubaatioajasta.

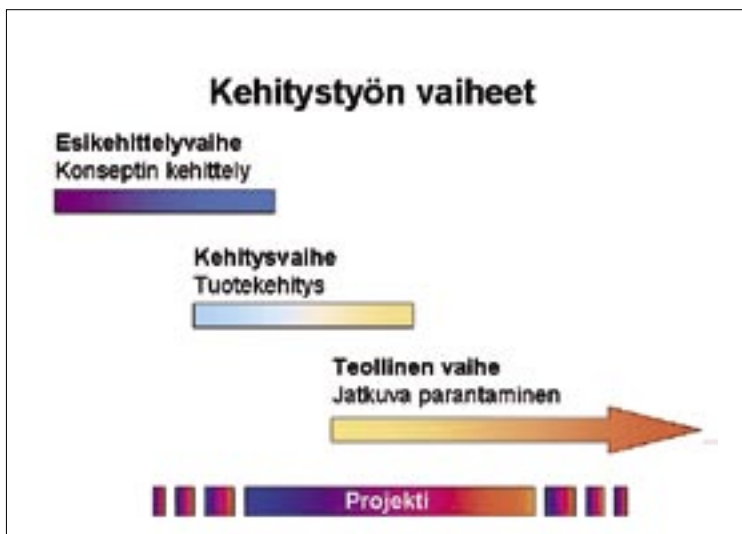
Kun uuden tuotteen kehittämisen prosessi on edennyt niin pitkälle, että selviä faktoja ja mitattavia hyötyjä on riittävästi nähtävissä, yleensä tehokain tapa edetä on projekti (kuva 6). Tämä antaa hankkeelle vauhtia, koska sille saadaan organisaatio, asetetaan konkreettiset tavoitteet, sovitaan toimenpiteet ja vastuut sekä arvioidaan riskit. Projektiryhmällä tulee olla myös selkeä, yhteinen visio hankkeesta. Eräs tärkeimpiä projektin ominaisuuksia on

sen läpinäkyvyys, niin johtoon kuin kaikkiin muihinkin sidosryhmiin.

### Kommunikaatio

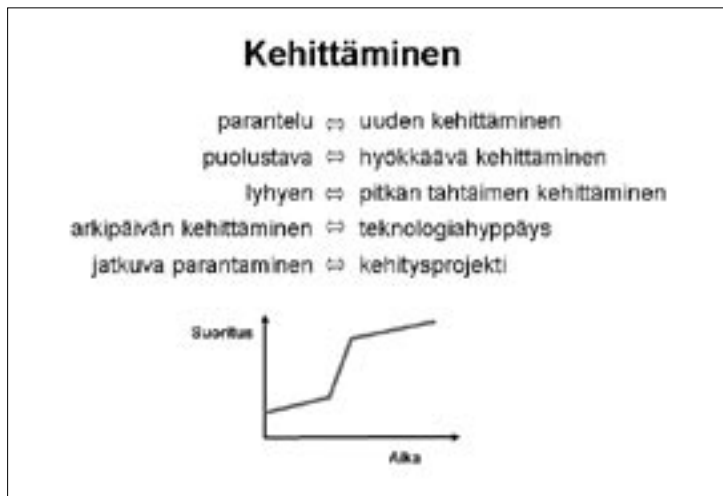
Kehitysprojektin toteutuksessa avainasia, mitä koskaan ei voi liikaa painottaa, on informaatio, erityisesti tiedon vuorovaikutuksellinen liikkuminen eli kommunikaatio. Projektiryhmän jäsenten on oltava reaaliajassa tietoisia kaikesta, mitä on tapahtunut. Kokouksia ja palavereja on pidettävä mieluummin liian usein kuin harvoin. Tässä on yksi syy siihen, miksi varsinaisen projektiryhmä ei voi olla liian suuri, koska silloin syntyy helposti informaatiotyhjiöitä. Aika ajoin pidettävät laajemmat katselmuksot eri sidosryhmille ovat toinen asia.

Se, että tuotekehitystyössä on mu-



**Kuva 6.** Näkemys uuden tuotteen kehittämisen koko kaaresta ja projektityön sijoitumisesta tähän.

**Kuva 5.** Esimerkkejä pienimuotoisemmasta arkipäivän kehittämisestä ja toisaalta hyppäyksellisemmästä, kuten uuden tuotteen kehitystyöstä.



kana asiakas tai asiakkaita, vaikeuttaa kommunikaatiota, mutta silti kaikkien osapuolten on oltava yhtä hyvin informoituja. Sähköpostista on apua yhteydenpidossa varsinkin kaukaisemmille osapuolille mutta yleensä vain silloin, kun puhutaan yhdensuuntaisesta, raportointiluontoisesta tiedonsiirrosta. Keskustelevaa ajatustenvaihtoa se ei pysty korvaamaan, vaan tämä on edelleenkin parasta hoitaa silmäkkäin. Uuden projektin ollessa kysymyksessä, paras tapa aloittaa on hankkia saman pöydän ääreen kaikki osapuolet, jotka tässä tapauksessa teräksentuottajan lisäksi yleensä ovat takomo ja autonvalmistaja, **kuva 7**. Kommunikaation varmistamiseksi riittävän tiheät kokoukset asiakkaiden kanssa ovat välttämättömiä. On ymmärrettävää, että jokaiseen

kokoukseen kaikki eivät voi osallistua, mutta esimerkiksi kotiin palattua hyvä informaation siirto on hoidettava projektiryhmälle.

#### Laatujärjestelmän merkitys

Muutama vuosi sitten lähdimme Imatralla analysoimaan jo päättyneitä kehitysprojekteja yrittäen löytää teki-

moninaiset. Hänen tulee hallita projektityöskentelyn lisäksi itse kehitettävä asia teknisesti, ja hänen pitäisi olla kehitysorientoinut mutta samalla myös kylmästi faktojen pohjalta ajatteleva. Vaikka kaikkien projektin jäsenen pitäisi periaatteessa olla vastuussa, on vetäjä yleensä se, joka viime kädessä vastaa tavoitteiden saavuttamisesta. Kehitysprojektien luonteeseen kuu-

keä, itsepintainen yrittäminen. Tilanne on samanlainen yhtä hyvin asiakkaalla kuin omissa joukoissa. Niinpä yhteisen hankkeen onnistuminen edellyttää samoja ominaisuuksia ja samalla tavalla hankkeeseen sitoutunutta henkilöä rajapinnan kummallakin puolen.

Yhteistyössä tapahtuvan kehitystyön eräs menestystekijä on, että toimittajan tuotekehittäjä on työskennellyt jossain vaiheessa myös käyttäjänä. Asialla on suurempi merkitys kuin yleensä tullaan ajatelleeksi, koska käyttäjäasenteen omaava tuotekehittäjä tietää, mitkä seikat ovat asiakkaalle tärkeitä, miten asiakas ajattelee.

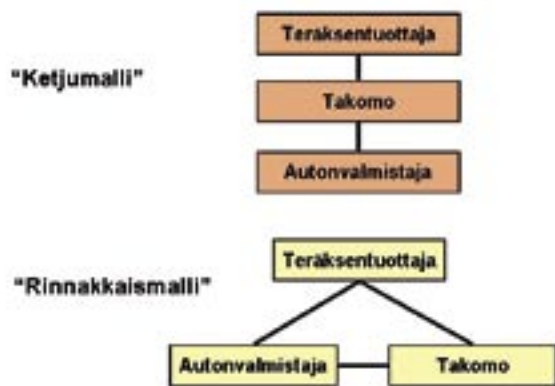
Mercedes Benz kertoi pari vuotta sitten eräästä ongelmastaan. He olivat halunneet rekrytoida nimenomaan monitaitoisia insinöörejä (generalists), jotka tekniikan lisäksi hallitsevat sujuvasti talousasiat, ovat kielitaitoisia, sosiaalisia jne. Tämän tuloksena heille oli kuitenkin syntynyt pula huippusuunnittelijoista. Kysymys ei ollut siitä, etteikö Mersu olisi pystynyt saamaan haluamiaan henkilöitä, vaan väärin asetetusta rekrytointiprofiilista. Sama ongelma taitaa tällä hetkellä olla monessa muussakin yrityksessä.

Kehitystyössä englanninkieli riittää useimmissa maissa, jopa Ranskassa. Tosin vähäisemmästäkin kumppanien äidinkielen taidosta on hyötyä, sillä näin voi itse paremmin seurata myös vastapuolen keskinäistä kommunikointia. Tärkeää maan kielen osaaminen näyttää olevan Ruotsissa. Sikäläisessä keskustelukulttuurissa ruotsintaitoinen pääsee mukaan kokouksen vuorovaikutusdynamiikkaan ja tulee samalla paremmin hyväksytyksi ryhmän jäseneksi. Suomalaisilla tässä asiassa on ollut melkoinen etulyönti, mikä toivon mukaan tulisi myös säilymään.

#### Johdon sitoutuminen

Last but not least. Koska merkittävässä kehityshankkeilla tavoitellaan yrityksen liiketoiminnan parantamista, on selvää, että johdon on oltava niistä kiinnostunut. Myös lopulliselle onnistumiselle johdon rooli on täysin ratkaiseva. Kehityshankkeissa ei riitä, että johto tietää hankkeesta ja on aikoinaan tehnyt aloittamisesta positiivisen päätöksen. Hankkeen onnistumisen edellytys on johdon aito sitoutuminen, mikä tarkoittaa matkan varrella aktiivista ja johdonmukaista toimintaa: tukea ja tarvittaessa päätöksiä. Tämä takaa projektin oikean suunnan ja myös läpinäkyvyyden säilymisen. Sama johdon aito sitoutuminen koskee luonnollisesti myös yhteistyökumppaneita.▲▲

### Yhteistyömallit



Kuva 7. Toimintamalleja, joita on käytetty eri valmistusportaiden välisessä yhteistyössä. Uusien tuotteiden kehittämisessä "ketjumalli" ei toimi, vaan "rinnakkaismalli" on oikeampi tapa.

jöitä, jotka olivat yhteisiä toisaalta onnistuneille ja toisaalta epäonnistuneille hankkeille. Yhteiseksi tekijöiksi onnistumiselle löytyi mm. kehitysprosessin riittävä vaiheistus, mutta ehkä tärkeimmäksi menestystekijäksi havaittiin jo edellä mainittu kommunikaatio.

Tulosten selvittyä ryhdyimme etsimään sellaista laatujärjestelmää, mikä sopisi yhteen havaintojemme kanssa. Melko pian löytyikin QS9000:n Advanced Product Quality Planning (APQP), jossa olivat mielestämme kaikki onnistumiselle olennaiset tekijät, ja ohjeistimme kehitysprosessimme tämän pohjalta. APQP vahvisti sen, että erityisesti riskien hallinnassa hyvän kommunikaation merkitys on suuri. Riskitarkasteluja, kuten FMEA:a (Failure Mode and Effects Analysis), tuleekin projektin edetessä tehdä riittävän usein ja niin suurella ryhmällä, että mukaan saadaan paras mahdollinen asiantuntemus mukaan luettuina myös asiakas tai asiakkaat. Esimerkki osoittaa, että parjatut laatujärjestelmät voivat tehostaa toimintaa, kunhan niihin ei suhtauduta kuin pakkopullaan, vaan ne hyödynnetään aktiivisina työkaluina.

#### Projektinjohtajan rooli

Projekti yleensä personoituu vahvasti sen johtajaan. Hyvälle projektinvetäjälle asetettavat vaatimukset ovat

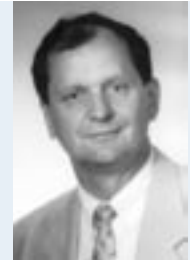
luu, että niissä toistuvasti ilmaantuu ennakoimattomia tilanteita, jolloin on kyettävä joustavasti päivittämään suunnitelmiaan. Mikäli on nähtävissä, että tavoitteista joudutaan olennaisesti tinkimään, projektinjohtajan on ajoissa vietävä hanke uudelleen johdon harkintaan.

Aika ajoon on käynyt niin, että projektin johtaja halutaan kesken projektin organisaatiossa johonkin toiseen "tärkeämpään" tehtävään. Kokemus on osoittanut, että hintana tästä voi hyvinkin olla projektin tavoitteiden menettäminen. Merkittävässä hankkeissa projektinjohtaja olisikin jo alunperin pyrittävä rauhoittamaan projektin ajaksi.

#### Kehityshenkilöstö

Vaikka kehitystyötä tehdään tiimeissä, joissa tarvitaan erilaisia taitoja ja persoonallisuuksia, tietyt piirteet ovat tarpeen ainakin jollakin ryhmän jäsenistä. Ehdottomasti tärkein on kyky innovointiin. Hyvistä ideoista on aina pula, mutta toisaalta niitä kyllä tulee, jos henkilöstöstä löytyy luovuutta ja organisaatio pystyy tämän myös hyväksymään. Koska uudella ajatuksella on edessä poikkeuksetta muutosvastarinta, työläintä on ideoiden eteenpäinvienti lopulliseen tulokseen. Tärkeämpää kuin nopeat voitot on epävarmuuden sietokyky ja asiaansa uskova, sit-

**CV- Tuomo Tiainen** is currently Professor of Materials Technology at the Institute of Materials Science of Tampere University of Technology, where he received his M.Sc degree in 1973 and his Doctor of Technology degree in 1980. He was appointed as Acting Associate Professor of Physical Metallurgy in Oulu University in 1980-1982 and as Associate Professor of Materials Science in Tampere University of Technology in 1983. He was a Long-term Visiting Staff Member in Los Alamos National Laboratory during the years 1986-1987 and a Research Engineer and Senior Researcher in Outokumpu Research Oy during the years 1989-1991. His current position in Tampere University of Technology he received in 1996. He was the Head of the Department of Materials Engineering in 1996-2003. Since 2003 he is the second Vice Rector of the university. His current research interests are alloy development, deformation processing and joining of metals, long-term durability of adhesive joints and sandwich structures, metal foams and foundry technology.



# Materiaalitekniikka elämänuraksi?

## *Alan imago ja kiinnostavuus*

### 1. Johdanto

Materiaalit ja materiaalitekniikka ovat avainasemassa useimpien muiden tekniikan alojen kehittämisessä. Viime kädessä jokainen käyttämämme laite tai tuote on rakennettu jostakin materiaalista. Materiaalitekniikan kehittyminen on mahdollistanut mm tietotekniikan ja elektroniikan komponenttien ja laitteiden koon merkittävän pienenemisen sekä kapasiteetin ja suorituskyvyn samanaikaisen huikean kasvun. Materiaalitekniikan kehittymisen ansioksi voidaan myös laskea entistä korkeamat toimintalämpötilat, paremmat hyötysuhteet sekä puhtaammat prosessit energiantuotannossa. Nyt voimakkaan tutkimusaktiviteetin kohteena oleva nanoteknologia on perusolemukseltaan äärimmilleen pelkistettyä materiaalitekniikkaa. Sen mukanaan tuomaa potentiaalia voimme toistaiseksi vain arvailla.

Materiaalitiede ja -tekniikka ovat tutkimusintensiivisiä aloja. Niillä menestyminen edellyttää jatkuvaa pysymistä kansainvälisen tutkimus- ja kehitystyön kärjessä. Eräänä keskeisenä edellytyksenä on lahjakkaan opiskelija-aineksen hakeutuminen alan ylimpään koulutus- ja tutkimustoimintaan. Tämän artikkelin tarkoituksena on luoda katsaus alan opiskelijatilanteeseen ja sen kehitysnäkymiin maamme teknillisissä yliopistoissa sekä linjata niitä toimenpiteitä, joilla alan henkisten tutkimus-

ja kehitysresurssien säilyminen ja kehittyminen voidaan jatkossakin turvata.

### 2. Materiaalitekniikka suomalaisessa teollisuudessa

Maamme teollista rakennetta tarkasteltaessa materiaalitekniikka on merkittävältä osaltaan metalleihin keskittyvää. Teknologiateollisuuden päätoimialojen viennistä kone- ja metalliteollisuus sekä metallien jalostus yhdessä kattoivat vuonna 2003 52 %, kun sähkö- ja elektroniikkateollisuuden viennin osuus oli 48 % /1/. Monet suomalaiset metallurgian ja metallitekniikan alan innovaatiot (esim. liekkisulatus) ovat tunnettuja kautta maailman. Suomalaiset ovat myös olleet maailmanlaajuisesti tarkasteltuna edelläkävijöitä monien edistyksellisten prosessien kuten terästen jatkuvavalun, hienoraeteknologian sekä tyhjökäsittelyn soveltamisessa teolliseen tuotantoon.

Polymeeri- ja elastomeerimateriaalien alueella maassamme on merkittävää teollisuutta, joka palvelee sekä kotimaista tarvetta että vientiteollisuuden eri aloja. Polymeeripohjaiset komposiittimateriaalit ovat vallanneet alaa muun muassa vientiin menevissä kuljetuskalustoalan erikoistuuksissa. Materiaalitekniikan tutkimus- ja kehitystoiminta on Suomessa vilkasta. Tiettyillä erityisaloilla, kuten puolijohdeteknologiassa, biomateriaalitekniikassa ja optoelektroniikan materiaaleissa

se on myös johtanut vientipainotteisen teollisen toiminnan käynnistymiseen.

### 3. Materiaalitekniikan koulutus Suomen teknillisissä yliopistoissa

Varsinaisia materiaalitekniikan alan koulutusohjelmia, joihin opiskelijat voivat hakeutua suoraan, on Suomessa kaksi: Teknillisen korkeakoulun (TKK) Materiaali- ja kalliotekniikan koulutusohjelma sekä Tampereen teknillisen yliopiston (TTY) Materiaalitekniikan koulutusohjelma, joka kattaa kaikki materiaalit mukaanluettuna biomateriaalit, polymeeri- ja elastomeerimateriaalit sekä komposiitit. Tämän lisäksi Teknillisessä korkeakoulussa, Oulun yliopistossa (OY) ja Lappeenrannan teknillisessä yliopistossa (LTY) on konetekniikan koulutusohjelmien ammattiaineopinnoissa mahdollisuus painottua materiaalitekniikkaan ja TKK:ssa myös valimotekniikkaan. Oulussa painopiste on fysikaalisessa metallurgiassa ja Lappeenrannassa hitsaus- ja liittämistekniikassa. TTY:llä on laseripinnoitusalaan keskittyvä laboratorio Kokkolassa ja elastomeeritekniikan laboratorio Vammalassa sekä muovitekniikan professori Lahden ja komposiittitekniikan professori Seinäjoen yliopistokeskuksessa. Lappeenrannan teknillisellä yliopistolla on materiaalitekniikan laboratorio Mikkeliissä. Oulun yliopiston prosessitekniikan osastolla on mahdollisuus prosessimetallurgian





opintoihin. Turun yliopistossa on mahdollisuus suorittaa pintatekniikkaan ja biomateriaaleihin painottuvia materiaalitekniikan alan opintoja ja Åbo Akademiassa vastaavasti materiaalikemiaan painottuvia opintoja. Vaasan yliopistossa käynnistetty alumiinitekniologia ja Jyväskylän yliopiston fysiikkapainotteinen nanotekniologia ovat uusimpia materiaalitekniikkaan liittyviä tutkimus- ja koulutusaktiviteetteja.

#### 4. Alan kiinnostavuuden osatekijät ja niiden mittaaminen

Alalle hakeutumista harkitsevan nuoren kannalta alan kiinnostavuuden yleisinä tekijöinä voidaan pitää ainakin seuraavia asioita: alan yleinen merkitys sekä alan ja sen tarjoamien työtehtävien arvostus ja imago, mahdollisuus työllistyä koulutusta vastaaviin tehtäviin sekä työtehtävien haastavuus ja mielekkäisyys. Muita valintaan vaikuttavia tekijöitä ovat mahdollisuus urakehitykseen, alan kansainvälisyys sekä yleinen kiinnostus tekniikkaa ja materiaaleja kohtaan. Sukulaisten ja kaverien esimerkillä on myös oma osansa nuorten valinnoissa.

Alan kiinnostavuuden mittaaminen on monipuolinen ja haastava tehtävä. Mahdollisina mittareina voidaan tarkastella esimerkiksi nuorten esittämiä syitä alalle hakeutumiseen, yliopiston koulutusohjelmiin pyrkivien määrää suhteessa hyväksytyjen määrään, vaadittavia sisäänpääsytestä sekä valmistuneiden opiskelijoiden työllistymistä alalle. Opintojen ja työuran alkuvaiheen aikana alan kiinnostavuutta osoittaa myös alalla pysyminen: tällöin mittareina voisivat olla mm valmistuneiden opiskelijoiden määrä suhteessa hyväksytyjen opiskelijoiden määrään sekä yliopistojen jatkotutkintojen määrä suhteessa valmistuvien perustutkintojen määrään. Seuraavassa keskitytään tarkastelemaan TKK:ssa, TTY:ssä, OY:ssä ja LTY:ssä suoritettavia materiaalitekniikan alan opintoja.

##### 4.1 Syyt alalle hakeutumiseen

Tekniikan Akateemisten Liitto TEK on kartoittanut vuosina 1999-2003 tekniikan alan yliopistojen koulutusohjelmista juuri valmistuneiden nuorten esittämiä syitä koulutusohjelmansa valintaan /2/. TKK:n Materiaali- ja kalitekniiikan koulutusohjelmassa painavimpia syitä olivat mielenkiintoinen työ, sukulaisten/ystävien esimerkki, hyvä palkka sekä kansainvälinen työ ja hyvät etenemismahdollisuudet. Muina asiaan vaikuttavina tekijöinä mainittiin

kiinnostus tekniikkaan, hyvä työllisyys, halu olla päättäjä/vaikuttaja sekä korkeatasoinen koulutus. Sen sijaan työn haastavuus ja arvostus sekä kiinnostus yrittäjyyteen jäivät vähemmälle valintaan vaikuttaneiden syiden joukossa. Tärkeimpinä syinä TTY:n Materiaalitekniikan koulutusohjelmaan hakeutumiseen esitettiin mielenkiintoinen ja haastava työ, yleinen kiinnostus tekniikkaan, sukulaisten/ystävien esimerkki, hyvä palkka ja työllisyys. Muina valintaan vaikuttaneina tekijöinä mainittiin kansainvälinen työ, hyvät etenemismahdollisuudet, halu olla päättäjä/vaikuttaja sekä korkeatasoinen koulutus. Työn arvostus ja mahdollisuus yrittäjyyteen eivät valintaan innoitaneet myöskään TTY:ssä.

Kyselyn tulosten perusteella materiaalitekniikan alan työn mielenkiintoisuus ja haastavuus ovat tärkeitä alan valintaperusteita. Alan koulutus koe-

taan myös korkeatasoiseksi. Sen sijaan työn arvostus ei näytä kovin merkittävältä alan valintaperusteelta materiaalitekniikan kohdalla. Sama piirre oli havaittavissa monissa muissakin koulutusohjelmissa /2/.

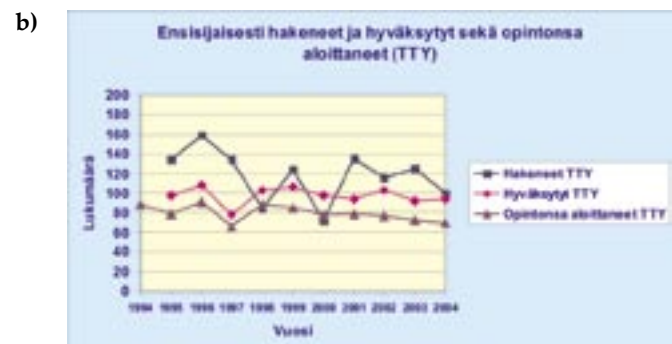
##### 4.2 Sisäänpääsytestet materiaalitekniikan koulutusohjelmiin

Kuvassa 1 on esitetty TKK:n ja TTY:n materiaalitekniikan alan koulutusohjelmiin vaaditut sisäänpääsytestet vuosina 1994-2004. Kuvassa on myös esitetty TTY:n kaikkien koulutusohjelmien minimisisäänpääsytestet keskiarvot vuosilta 2002-2004. Kuvan mukaan sisäänpääsytesteissä esiintyy melkoista syklistä vaihtelua, joka näkyy samanlaisena molemmissa yliopistoissa. Viime aikoina materiaalitekniikan sisäänpääsytestet ovat TTY:ssä olleet yliopiston keskiarvon tasolla.

**Kuva 1.** Materiaalitekniikan koulutusohjelmiin (TKK ja TTY) vaaditut minimisisäänpääsytestet vuosina 1994-2004.



**Kuva 2.** Materiaalitekniikan koulutusohjelmiin ensisijaisesti hakeneet ja hyväksytyt opiskelijat vuosina 1995-2004: a) TKK b) TTY



### 4.3 Koulutusohjelmiin hakeneet ja hyväksytyt opiskelijat

Kuvassa 2 on esitetty materiaaliteknikan koulutusohjelmiin ensisijaisesti hakeneet ja hyväksytyt opiskelijat TKK:ssa ja TTY:ssä vuosina 1995-2004. Kuvaan 2b on merkitty myös TTY:ssä opintonsa aloittaneet opiskelijat. Hakijoiden määrässä esiintyy suurta vuotuista vaihtelua molemmista yliopistoissa; hyväksytyjen määrä on pysynyt koko tarkastelukauden kutakuinkin vakiona eli noin 180 opiskelijassa. Tarkasteltaessa molempia yliopistoja yhdessä (kuva 3) nähdään materiaaliteknikan koulutusohjelmiin ensisijaisesti hakeutuvien opiskelijoiden ja opiskelemaan hyväksytyjen määrän olevan tarkastelujakson puolestavälistä lähtien keskimäärin samalla tasolla, mutta vuotuiset vaihtelut ovat suuria.

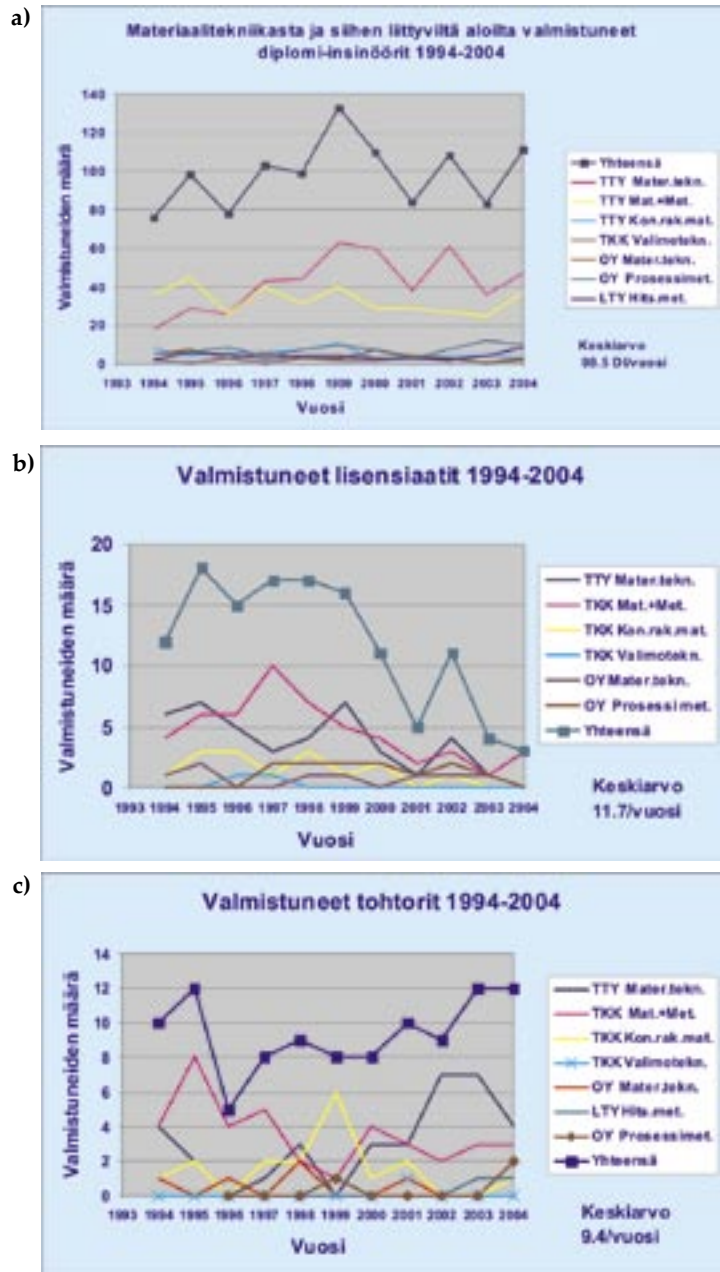
### 4.4 Materiaaliteknikan alalta valmistuneet tutkinnot

Materiaaliteknikan alalta valmistuneet diplomi-insinööri-, lisensiaatti- ja tohtoritutkinnot vuosina 1994-2004 on esitetty kuvassa 4. Kuvassa on esitetty myös Oulun yliopistossa ja Lappeenrannan teknillisessä yliopistossa suoritettut tutkinnot. Vuotuiset vaihtelut ovat jälleen suuria. Diplomi-insinööritutkintojen vuotuisessa määrässä on tarkastelukaudella tapahtunut lievää kasvua; kauden keskiarvo on 98.5 DI/v. Merkillepantavaa on lisensiaattitutkintojen vuotuisessa kokonaismäärässä tapahtunut jyrkkä lasku ja tohtoritutkintojen määrässä tapahtunut lisäys vuoden 1996 jälkeen. Molemmat ovat seurausta opetusministeriön käyttämästä tulostulosperiaatteesta, jonka mukaan lisensiaatin tutkinnot eivät sisälly yliopistojen tulostulokriteereihin.

### 4.5 Materiaaliteknikan alalta valmistuneet suhteessa opinnon aloittaneisiin

Kuvassa 5 on esitetty materiaali- tekniikan koulutusohjelmista vuosina

Kuva 4. Materiaaliteknikan alalla suoritettut tutkinnot vuosina 1994-2004: a) diplomi-insinöörin tutkinnot, b) lisensiaatin tutkinnot ja c) tohtorin tutkinnot.



Kuva 3. Materiaaliteknikan koulutusohjelmiin ensisijaisesti hakeneiden ja hyväksytyjen opiskelijoiden yhteismäärät TKK:ssa ja TTY:ssä vuosina 1995-2004.



2001-2004 valmistuneiden prosenttiosuus alalla aloittaneista opiskelijoista. Osuus on laskettu materiaaliteknikan alalle keskimääräisen kuuden vuoden pituisen opiskeluajan mukaan. Myös näissä luvuissa esiintyy suuria vuotui-

sia vaihteluita, mutta tarkastelujakson keskiarvot ovat lähellä toisiaan sekä TKK:n että TTY:n koulutusohjelmissä. Keskimäärin 56 % opinnon aloittaneista opiskelijoista valmistuu alalle, kun keskimääräisenä valmistumisaikana pidetään kuutta vuotta. Hävikki on suurehko, mutta se ei merkittävästi poikkea muiden tekniikan alojen tilanteesta yliopistoissa.

### 4.6 Työllistyminen valmistumishetkellä

Tampereen teknillisessä yliopistossa opiskelijoiden työllistyminen valmistumishetkellä on eräs tuloksellisuusmittari. Kuvassa 6 on esitetty TTY:n Materiaaliteknikan koulutusohjelman opiskelijoiden työllistymisaste valmistu-

tumishetkellä vuosina 1995-2004. Kuvassa on esitetty myös Porissa 1990-luvulla toteutetussa muuntokoulutusohjelmassa (insinööristä diplomi-insinööriksi) valmistuneiden opiskelijoiden työllistymisen sekä TTY:n kaikkien koulutusohjelmien työllistymisasteen keskiarvo. Vuotuiset vaihtelut ovat materiaalitekniikassa jälleen suuria. Keskimääräinen materiaalitekniikan alan opiskelijoiden työllistymisaste valmistumishetkellä on tarkasteluajanjaksona 81 %, kun se koko TTY:ssä on 86 %.

#### 4.7 Alan rekrytointitarve nyt ja tulevaisuudessa

Metallurgian ja metallien jalostuksen alalla toimivan teollisuuden rekrytointitarvetta on arvioitu Metallinjalostajat ry:n toimesta /3/. Alan neljä suurinta yritystä ovat rekrytoineet vuosina 1966-1996 yhteensä keskimäärin 35 diplomi-insinööriä vuodessa. Näiden yritysten arvioitu rekrytointitarve kaudella 1997-2015 on noin 50 DI/vuosi. Valmistuvista on metallimateriaaleja lukenut pitkänä ammattiaineenaan vain osa (esim. TTY:ssä noin yksi kolmannes). Kun lisäksi muut materiaalitekniikan alat ovat kasvussa, voidaan arvioida, että alalle valmistuvien määrä ja alan rekrytointitarve ovat tällä hetkellä ja nähtävissä olevassa tulevaisuudessaakin kohtuullisen hyvin tasapainossa. Ainakaan työttömyyttä ei nykykäsityksen mukaan ole näköpiirissä.

### 5. Huomioita alan kiinnostavuudesta ja sen kehitystarpeesta

Yleisinä havaintoina alan kiinnostavuudesta voidaan todeta, että materiaalitekniikan alan koulutusohjelmien profiloituminen julkisuudessa ei ole tällä hetkellä kovin selkeää. Kiinnostavuudessa esiintyy suuria vuotuisia vaihteluita, mitättiinpa sitä sitten yliopistojen koulutusohjelmien sisäänpääsypisteiden tai koulutusohjelmiin ensisijaisesti hakeneiden määrällä (nämä muuttujat ovat luonnollisesti sidoksissa toisiinsa). Tarkasteluajaksolla on materiaalitekniikan koulutusohjelmiin ensisijaisesti hakeneiden määrä ollut lievässä laskussa, mutta tämä trendi on tyypillinen tekniikan alalle. Valmistuvien määrä suhteessa

opinnot aloittavien määrään on pieni, mutta ei mitenkään tekniikan alan yleisestä tasosta poikkeava. Toisaalta alan jatko-opinnot ovat perinteisesti olleet ja ovat edelleenkin kohtuullisen hyvin kiinnostavia. Vuosittain valmistuvien jatkotutkintojen määrä on noin 20 % diplomi-insinöörien määrästä. Tämä ylittää jonkin verran yliopistojen yleisenä tavoitteena olevan 15 % osuuden. Alalle valmistuvien määrä ja yritysten

distuvat pinnat, älykkäät tekstiilit jne. Tämän kehityksen voidaan arvioida lisäävän alan tunnettuutta ja kiinnostavuutta. Huolta on kuitenkin kannettava myös ns perinteisistä aloista ja niiden kehityksestä, joka on yhä edelleen hyvin nopeaa. Kaikki ei voi olla pelkästään nanoteknologiaa ja älykkäitä materiaaleja.

Metallimateriaaleja tarkasteltaessa prosessimetallurgian koulutus ja tutkimus ovat Suomessa hyvissä käsissä. Tuotteiden jalostusasteen kasvaessa tulee metallitekniikan asema ja merkitys teollisuudessa kasvamaan ja tämän alan osaamistason ylläpitämiseen ja kehittämiseen tulee jatkossa panostaa. Erityisesti tämän alueen kiinnostavuuden lisääminen on eräs tulevaisuuden suurista haasteista. Materiaalien ominaisuuksien ja käytäytymisen ymmärtäminen ja ymmärryksen hyödyntäminen kilpailukykyisissä tuotteissa tarjoaa jatkuvasti mielenkiintoisia ja haastavia tehtäviä. Tällä hetkellä tunnemme ehkä 10-15 % teräksiin sisältyvästä potentiaalista, vaikka teräkset kuuluvat eniten tutkittuihin ja hyödynnettyihin rakennemateriaaleihin!

### 6. Teollisuuden rooli alan kiinnostavuuden kehittämisessä

Teollisuuden rooli materiaalitekniikan kiinnostavuuden kehittämisessä on merkittävä, koska alan työpaikat ovat pääosiltaan teollisuudessa. Mielenkiintoisten ja haastavien tutkimus- ja työtehtävien tarjoaminen on keskeisimpiä kiinnostavuutta lisääviä keinoja. Teollisuuden tulisi myös tukea alaa opiskelevia henkilöitä, erityisesti jatko-opiskelijoita. Hyville jatko-opiskelijoille tulisi aina järjestää mahdollisuus opintojen loppuun saattamiseen ennen siirtymistä teollisuuden palvelukseen. Ennenkain palkkaaminen on mitä suurimmassa määrin "kuormasta syömistä", koska se useimmissa tapauksissa johtaa opintojen keskeytymiseen tai ainakin merkittävään viivästymiseen. Teollisuuden tulisi myös varmistaa tasaisena ja jatkuvina pysyvien T&K-panosten säilyminen suhdanteista riippumatta. Erityisen tärkeää panostaminen tutkimukseen ja tuotekehitykseen on laskusuhdanteen aikana. Teollisuusyritysten



Kuva 5. Materiaalitekniikan koulutusohjelmista valmistuneiden diplomi-insinöörien määrä verrattuna opintojen aloittaneiden opiskelijoiden määrään kuuden vuoden opiskeluajan mukaan laskettuna.



Kuva 6. TTY:n Materiaalitekniikan koulutusohjelmassa diplomi-insinööritutkinnon suorittaneiden opiskelijoiden työllistymisen valmistumishetkellä vuosina 1995-2004.

rekrytointitarve näyttävät tällä hetkellä olevan kohtuullisen hyvin tasapainossa sekä perustutkintojen että jatkotutkintojen osalta. Tulevaisuudessa on paikallaan varautua rekrytointitarpeen lievään kasvuun, kun otetaan huomioon teknologiateollisuuden henkilöstön ikäjakaumasta johtuva eläkkeelle siirtyvien henkilöiden määrän voimakas kasvu vuosina 2001-2007 /4/.

Jatkossa voidaan ns kehittyneen materiaalitekniikan arvioida tulevan entistä lähemmäksi ihmisten jokapäiväistä elämää. Esimerkkejä tästä ovat mm likaantumattomat ja itsestään puh-



tulisi myös luoda partnership-tyyppiset pysyvät suhteet kannaltaan keskeisiin yliopistoihin ja tutkimuslaitoksiin, jotta nykyinen, yksittäisiin projekteihin perustuva ja usein epäsäännöllisesti toimiva yhteistyö saataisiin jatkuvammalle ja kestävämmälle pohjalle. Imagon kohottamiseksi teollisuuden tulisi myös toimittaa julkisuuteen ajantasaisista ja positiivisesti virittynyttä informaatiota teollisuustyön luonteesta, sen haastavuudesta ja alan saavutuksista. Menestystarinat toimivat irtisanomisilmoituksia huomattavasti parempina imagon kohentajina.

## 7. Yhteenveto

Materiaalitekniikan ja metallitekniikan alan imago ja kiinnostavuus ovat tässä esityksessä tarkastelluilla mittareilla arvioituina siedettävän ja tyydyttävän välimaastossa. Kiinnostavuuden herkyys suhdannevaihteluille haittaa jossakin määrin alan koulutus- ja tutkimustoiminnan vakaata kehitystä. Metallien jalostusalan kiinnostavuuden lisääminen on haaste tulevaisuudessa, koska suomalaisten yritysten toiminnan painopiste on siirtymässä jalostusketjussa ylöspäin. Kiinnostus jatko-opintoihin näyttää alalla olevan kutakuinkin riittävä, mutta jatko-opiskelijoiden siirtymistä teollisuuden palvelukseen ennen opintojen valmistumista tulisi pyrkiä välttämään. Teollisuusyritysten ja yliopistojen sekä tutkimuslaitosten välistä yhteistyötä tulisi pyrkiä kehittämään pitkäjänteisen partnership-tyyppisen toiminnan suuntaan yksittäisten projektien asemesta. Materiaalitekniikan ja siihen pohjautuvan teollisuuden profiilia, merkitystä kansantaloudelle sekä potentiaalia tulisi viestiä julkisuuteen nykyistä voimakkaammin positiivisessa hengessä. Tämä on alan teollisuuden sekä tutkimus- ja kehityssektorin toimijoiden yhteinen tehtävä. Kukaan muu ei tee sitä meidän puolestamme. ▶▶

### Lähdeaineisto

1. Tullihallitus (tavaravienti), Teknologiateollisuus ry 8.3.2004
2. TEK, vastavalmistuneiden kyselyt s99-s03, TEK, 2004
3. Metallinjalostajat ry: Metallien jalostuksen yritysten rekrytoimat DI:t ja arvio tarpeesta 2015 asti, 13.4.2004.
4. Teknologiateollisuuden henkilöstön eläkkeelle siirtyminen vuosittain 2000-2020, Teknologiateollisuus ry, 26.3.2004.



**LAROX**

# filtration

solutions for mining and metallurgy

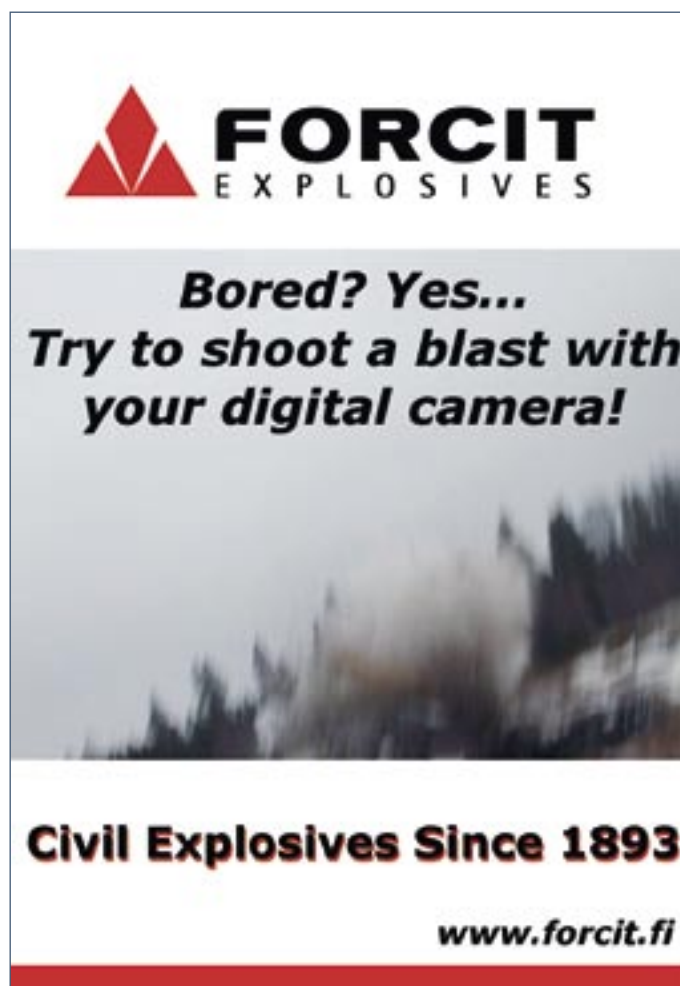
- Ceramec capillary action disc filters
- Hoesch pressure filters
- Pannevis horizontal vacuum belt filters
- Larox M series pressure filters
- Scheibler polishing filters

*Reliable and superior filtration*

**LAROX®**

Separates the best from the rest

[www.larox.com](http://www.larox.com)



**FORCIT**  
EXPLOSIVES

**Bored? Yes...**  
**Try to shoot a blast with your digital camera!**

**Civil Explosives Since 1893**

[www.forcit.fi](http://www.forcit.fi)

Kalle Hanhi, professori,  
Tampereen teknillinen  
yliopisto, Materiaaliopin  
laitos



# MUOVIT JA KUMIT autoteollisuudessa

## Johdanto

Autoteollisuus on kolmanneksi suurin polymeereja käyttävä teollisuudenala, pakkausteollisuuden ja rakennusteollisuuden jälkeen. Kumien käyttäjänä autoteollisuus on suurin.

Maailmassa on käytössä yli 500 miljoonaa henkilöautoa. Joka vuosi valmistetaan 50 miljoonaa uutta henkilöautoa, joiden valmistuksessa käytetään noin 70 miljoonaa tonnia raaka-aineita. Autoteollisuuden kasvavien volyyminennusteiden perusteella raaka-aineiden tarpeissa on nähtävissä voimakkaita määrällisiä ja alueellisia kasvulukujen muutoksia.

Nykyaikaisen autoteollisuuden polymeerimateriaalien käytön lisääntymiselle on nähty ennen muuta teknisiä, taloudellisia, esteettisiä ja ympäristölähtöisiä perusteita.

Esimerkkinä teknisistä perusteista ovat auton renkaat, jotka ovat ainoat massatuotantoon soveliaat rakennekomponentit, joilla voidaan siirtää auton ja alustan väliset dynaamiset voimavaikutukset. Toisena esimerkkinä mainittakoon polymeerimateriaaleista valmistetut vaimennuselementit, jotka täyttävät nykyiset törmäysiskumääräykset ja joita esimerkiksi metallivaimentimet eivät täytä.

Taloudellisuusnäkökohtien perusteella muoveista voidaan valmistaa edullisia, sekä massatuotantoon että niche-ajoneuvoihin soveltuvia komponentteja.

Polymeerimateriaaleista voidaan myös valmistaa esim. metalleihin ver-

rattuna vähemmän suunnittelijan käsiä sitovia esteettisiä ratkaisuja.

Ympäristönäkökohtia puoltavat paremman aerodynaamisen muotoilun ja keveyden mukanaan tuomat polttoaineen säästöt. Toisaalta polymeerimateriaalien, s.o. muovien ja kumien uusiokäyttö ja kierrätys eivät ole osoittautuneet helpoiksi. Hyötykäyttö on useimmin toteutettu polttamalla tai kumien tapauksessa myös ympäristörakentamisessa.

Polymeerimateriaalien sovelluksia voidaan luokitella myös käyttöfunktioiden mukaan, esim. törmäyksen vaimennuskomponentit, suojauspalkeet, färinän eristimet, tiivisteet, kemiallisesti kestävät tai läpäisemättömät sovellukset, tai käyttöympäristöjen mukaan, esimerkiksi ajoneuvojen ulkopuoliset, sisustukselliset tai konepellin alla olevat komponentit. Autoteollisuudella on kaikille komponenteille tarkat spesifikaatiot, jotka määrittelevät muovi- tai kumityypin sekä vaadittavat erikoisominaisuudet.

Polymeerimateriaalit ovat mukana vaikuttamassa koko autoteollisuuden kehitykseen, mihin uudistumiseen osaltaan vaikuttavat myös itse polymeerien suorituskyvyn ja prosessoitavuuden jatkuva paraneminen.

## Ajoneuvoteollisuuden käyttämät polymeerimateriaalit

Ajoneuvoissa yhteensä käytetty polymeerien määrä on yli 7 miljoonaa tonnia ja ko. materiaalien arvo on yli 50 miljardia euroa. Auton massasta on nykyisin

tyypillisesti muovimateriaaleja hieman yli 10 % ja kumeja n. 3 %. Metalleja auton massasta on edelleen valtaosa, esimerkiksi uudessa BMW 7 -sarjassa on rauta- ja teräsosia 46 % ja kevytmetalliosia 22,6 %. Kevytmetalliosat, samoin kuin polymeerimateriaaleista valmistetut osat lisäävät osuuttaan varsinkin autojen keventämistavoitteen myötä.

## Mitä polymeerimateriaaliperheitä käytetään autoissa?

### Muovit ja termoelastit

Muovipolymeerien kokonaisvolyymi on yli 150 Mto/a. Kertamuovien markkinoista n. 14 % ja kestonmuovien markkinoista n. 13 % löytyy autoteollisuudesta. Komposiittien markkinoista n. 36 % muodostuu autoteollisuuden tuotteista.

Kestomuovien tavoin työstettävien termoelastien (TPE) suurin yksittäinen käyttäjä on autoteollisuus (30 % termoelastien kokonaiskäytöstä, joka on n. 2 Mto).

Joillekin muoveille on tyypillistä, että niitä käytetään lähes kaikissa autoissa, toisia muoveja vain tietyn automallin erikoisosissa. Yleisimpiä autoteollisuuden muoveja ovat PP, PVC, ABS, PUR, PA, ja PE (Polymeerimateriaalien nimikkeistö ja terminologia, ks. esim. Muovitermit, julkaisija Muoviyhdistys ry 1992).

Termoelastien käytöstä autoteollisuudessa on valtaosa (luokkaa 80 %) termoplastisia olefiinielasteja (TPE-O, TPE-V), joita käytetään nykyisin hyvin

yleisesti erilaisissa listoissa ja pusku-reissa. Kyseiset materiaalit ovat tyypillisimmin eteeni-propeen-elastomeereilla modifioituja polyolefiineja. Muut autoissa käytetyt termoelastiperheet ovat styreeniblokkikopolymeeripohjaisia termoelasteja (TPE-S, SBS, SEBS), uretaanielasteja (TPE-U) ja kopolyesteri- tai kopolyamidipohjaisia termoelasteja (TPE-E, TPE-A).

## Kumit

Autoteollisuus on kumien ja polymeerikomposiittien suurin yksittäinen markkina-alue. Kumit ovat elastomeereista (kokonaiskäyttö n. 20 Mto) valmistetuista sekoitteista vulkanoimalla saatavia materiaaleja. Kumeista yli 50 % käytetään ajoneuvoissa. Yli 60 % maailman kumiraaka-aineista käytetään renkaiden valmistukseen. Suomessa renkaiden osuus kumituotteiden valmistuksesta on lähes 80 %. Eniten käytettyjä elastomeereja ovat renkaisa käytetyt elastomeerit, luonnonkumi (NR), sen synteettinen vastine isopreenikumi (IR) sekä styreeni-butadieeni (SBR), polybutadieeni- (BR) ja butyylikumit (IIR).

Teknisissä kumituotteissa, kuten erilaisissa profiileissa käytetään yleisesti eteeni-propeenikumeja (EPM, EPDM). Luonnonkumia, SBR:ää ja polyuretaaneja käytetään tyypillisesti esim. ääri- ja iskujen vaimennuskomponenteissa. Vaativissa olosuhteissa toimivissa komponenteissa käytetään nitrilikumeja (NBR, HNBR), akryylikumeja, fluorikumeja ja silikonikumeja.

Kumien käytön perusteina autojen komponenteissa ovat ainutlaatuiset dynaamiset ominaisuudet, vaimennus- ja kitkaominaisuudet, kimmoisuus ja pehmeys tartuttaessa.

**Kuva 1. (a)** Kuorma-autoissa käytettyjä kumisia suojapalkeita **(b)** Dieselkuorma-auton kumisia ilmanottoletkuja (REKA-kumi)



**Kuva 2.** Valonheitin, jossa muovit ja kumit (nykyisin myös TPE-V) toimivat hybridirakenteena (Opel Astra, Plastforum 7/2002).

Kumien kanssa kilpailevia materiaaleja ovat aikaisemmin mainitut termoelastit, joiden markkinoiden valloitusta on vielä hidastanut liian alhaiset ylimmät käyttölämpötilat ja myös kumeja

korkeammat hinnat.

Sekä kumien että termoelastien käytön nähdään lisääntyvän erilaisten ääri- ja melun torjuntaratkaisujen ja hiljaisen, miellyttävän ajoneuvon arvostuksen lisääntyessä. Elastien käytön uudet ratkaisut perustuvat enenevässä määrin eri materiaaleja yhdistämällä saataviin hybridiratkaisuihin.

Esimerkkejä ajoneuvoissa käytetyistä teknisistä kumin tuotteista on esitetty **kuviissa 1**.

## Missä polymeerimateriaaleja käytetään autoissa?

Muoveja, elasteja (kumit ja termoelastit) sekä komposiitteja käytetään lisääntyvässä määrin varsinkin seuraavissa ajoneuvosovelluksissa:

- Vaimennus- ja törmäyssuojat, joissa käytetään myös solustettuja polymeerimateriaaleja
- Erilaiset suojausrakenteet, esim. suojaus nesteiltä, pölyltä, liialta tai sateelta
- Korin ulkoiset osat ja varusteet, valot
- Matkustamon sisustus ja varusteet, kojelauta
- Konepellin alaiset laitteet, ilman otot, ilmastointi, nesteletkut

Uusina autojen rakenteiden suuntauksina ovat olleet viime aikoina esim. konepellien ja kattorakenteiden sekä myös koko korin valmistus komposiittirakenteista. Esimerkiksi onnistuneet Formula 1 -autojen korin komposiittiratkaisut puhuvat polymeerien puolesta. Toisena suuntalinjana, joka edistää polymeerimateriaalien käyttöä yleensä ja käyttöä myös autoissa, on erilaisten hybridiratkaisujen yleistymisen. Tällaisten yhdistelmä rakenteiden avulla voidaan rakentaa yhdessä tuotantovaiheessa rationaalisesti suuriakin toimintakokonaisuuksia. Esimerkki valoissa käytetystä yhdistelmä rakenteesta nähdään **kuviissa 2**.





**Kuva 3.** CCV-konseptin mukaista korinvalmistusta robottivusteisella ruiskuvalukoneella. (Chrysler/Plastforum 12/1997)

### Kori ja ulkoiset rakennekomponentit

Jo varsin varhain auton kehityshistorian aikana on markkinoille lanseerattu komposiittivalmisteisia korirakenteita. Ehkä yleisimmin muistetaan DDR:ssä valmistetut Trabant- ja Zwickau-autot, joiden korien arvostus tosin taisi yleisesti olla alhainen. Kun komposiitit ovat kehittyneet, on aika ajoin tuotu julkisuuteen uusia komposiittikonsepteja. Muiden muassa Chrysler toi markkinoille 1997 CCV-periaatteella (Composite Concept Vehicle) valmistetun VW Golfin suuruusluokkaa olevan korin, jonka massa oli vain 95 kg. Valmistuksessa voitiin käyttää PET-pullojen jätettä, jossa oli 15 % lasikuitulujitetta. Kori ruiskuvaluttiin neljästä osasta suoralla ruiskuvalulla, jotka osat kiinnitettiin toisiinsa ja hyvin yksinkertaiseen teräskehikkoon (**Kuva 3**, Plastforum 12/1997).

Niinkuin käytännössä tiedetään, kokonaan polymeerimateriaaleista valmistetut korit eivät ole ainakaan toistaiseksi lyöneet itseään täysin läpi, mutta polymeerit ja komposiittimateriaalit ovat koko ajan hiipineet sekä korin ulkoisiin komponentteihin että sisäosiin.

Tämän hetken sarjavalmisteisista autoista esim. Renaultin Aventime-mallin koripinnasta noin 90 % on SMC-tekniikalla valmistettua komposiittirakennetta, joka alentaa korin massaa 36 prosentilla teräskoriin verrattuna.

Vakiintuneita korin ulkopuolisia polymeeriosia ovat mm. puskurit, paneelit, spoilerit ja törmäyslistat. Samoin sekä taka-, sivu- että etuvaloissa ovat muovit vakiinnuttaneet asemansa. Edelleen esimerkiksi erilaiset tiivisteet ja pyyhkimet ovat polymeerimateriaaleja, useimmin kumeja tai termoelasteja.

Sovelluksia, joiden käyttö lisääntyy koko ajan, ovat kestumuovi- ja termo-

elastipuskurit, törmäyslistat sekä hiilikuitulujitteiset korin osat. Kertamuovikomposiittien sovelluksissa käytetään lisääntyvässä määrin GRP-, BMC-, RIM-, RTM- ja SMC -valutekniikoita.

Uusina polymeerimateriaalien aluevaalauksina on nähtävissä tuulilasit ja nanokomposiiteista valmistetut komponentit. Esim. General Motors on yhdessä Basellin kanssa kehittämässä 2,5 % nanosavi-filleripitoisuudella täytettyä TPE-O materiaalia autojen korien listoihin.

Myös erilaiset sandwich-rakenteet ja solustettujen materiaalien sovellukset ovat lisääntymässä. Esimerkkinä sandwich-rakenteesta korimateriaalina on esitetty solustettua epoksikerrosta, jonka molemmat puolet on teräslevyt.

### Säleiköt

Nykyisin käytössä olevia materiaalliperheitä ovat mm. PPO/PA seos henkilöautoihin. Maalattavina laatuina

on esitetty PA/ABS-seos (Triax/Bayer). RIM-polyuretaanirakenteita ja lasikuitulujitteisia polyesterikomposiitteja käytetään vaativimmissa säleiköissä.

### Puskurit

Puskurien rakenteina ja prosessointimenetelminä käytetään nykyään varsin moninaisia ratkaisuja. Puskuri voi sisältää esim. polypropeeni/lasikuitukomposiittista valmistetun jäykän palkin, solustetun PP-vaimennuskerroksen ja TPE-O (PP/EPDM) -pintakerroksen. Yhtenäinen polymeerimatriisimateriaali helpottaa kierrätystä. Yleisin vaihtoehto PP-ratkaisuille on RIM-valulla valmistettu polyuretaanipuskuriratkaisu.

### Muut korin ulkoiset komponentit

Korirakenteiden tiivisteissä käytetään yleisimmin kumeja ja TPE-V -tyypin termoelasteja.

Etuvalojen linseissä käytetään yleisimmin polykarbonaattimuoveja ja takavaloissa rinnakkaisruiskuvaluttuja akryylikomponentteja.

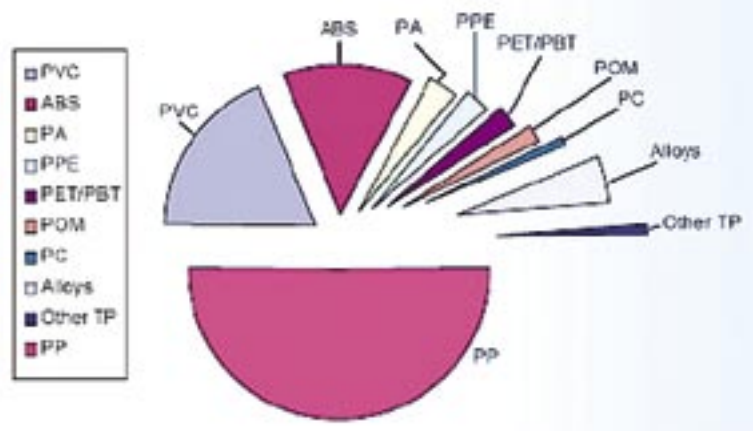
Tuulilaseihin on kehitetty lasin sijasta esimerkiksi polykarbonaattiratkaisuja, mutta nykyiset säännökset ovat rajoittaneet "tuulilasimuovien" käyttöönottoa.

Myös kattoluukkuja ja kattorakenteita varten on kehitetty erilaisia polymeeripohjaisia ratkaisuja (esim. Exatec/Bayer&GE ja Battenfeld: 5 kg kattoelementti, joka täyttää naarmuuntumis- ja UV-suojaus-normit).

### Ohjaamon polymeeripohjaisia ratkaisuja

Ohjaamoissa käytetään yli 50 % autois-

**Kuva 4.** Autojen ohjaamorakenteissa käytettyjen polymeerimateriaalien suhteellisia osuuksia (omnexus.com)



sa käytetyistä polymeerimateriaaleista. Tärkeimmät käyttökohteet ovat kojelauta, istuimet, erilaiset eristeet, airbags, matot jne.

Toimintafunktion perusteella sovellukset voidaan jakaa

- vaimennus- ja eristekomponentit
- hyvät mekaaniset ominaisuudet omaavat komponentit

- esteettiset komponentit

Autoteollisuudelle tärkeitä sisuosien suunnitteluperusteita ovat varsinkin

- yksimateriaaliratkaisut (kierrätys!)
- suoraan asennettavat modulikokonaisuuudet

Esimerkkinä panelirakenteista mainittakoon pitkäkuitulujitettu PP (LFRT) rakenteellisena osana, solustettu PP vaimentavana rakenteena ja elastinen TPE-O pintamateriaali.

Ohjaamon rakenteissa käytetään usein moninaisia polymeerimateriaaleja, joskin selvästi eniten käytettyjä ovat polypropeenit (ks kuva 4).

### Ohjaamossa käytetyt polymeerit

Kojelauta on kompleksinen rakenne, jolla on monia toimintafunktioita. Myös kojelautoissa käytettävien materiaalien valikoima on laaja, käsittäen melkeimpä kaikki polymeeriniikkeet. Esimerkiksi eri jäykkyyksisiä polyuretaaneja ja polyurea-materiaaleja (myös vaahtoja), polyolefiineja, TPE-O, PVC ja PVC/ABS, PVC/ASA seoksia, ABS, ASA, SMA, PC ja PC/ABS, PMMA, PA, PPA, polyasetaaaleja, PPO ja PPE käytetään kojelautarakenteissa.

Sisustelevyiltä vaaditaan esteettisiä koriste-pintoja sekä mekaanista lujuuutta ja turvallisuutta. Sisustekomponenteissa käytettyjen materiaalien kirjo on kutakuinkin sama kuin kojelaudan.

Istuimet valmistetaan yleisimmin polyuretaani- tai polyurea-vaahdoista, joiden valun yhteydessä usein asetetaan myös päällinen paikalleen. Istuimen kehikoissa käytetään, tyypillisimmin GMT-, BMC- ja SMC-valutekniikoita. Polymeerina käytetään usein polyamidia.

### Airbag systeemi

Törmästyynyjen materiaaleilta vaaditaan mm. kaasutiiveyttä, hyviä taivutus-, repimis- ja vetolujuuksia sekä pitkäaikaiskestävyyksiä

### Suoja- ja vaimennusratkaisut. Lämmön eristeet.

Ohjaamossa on erittäin monia polymeeripohjaisia ratkaisuja, joilla on useita toimintafunktioita. Esimerkkinä

mainittakoon

- Lattiamattojen alaiset lämmön ja meluneristysratkaisut

- Ohjaamon ja moottoritalan väliset eristeet

- Sovitepaneelin, kojelaudan ja sisustuspaneelin melua ja kitinää vaimentavat aluskerrokset

- Mattojen ja erilaisten alusvaahtojen materiaaleina käytetään esim. polyuretaani- ja polyureavaahtoja. Polyeteeni- vaahtoja käytetään usein kosteuden ja lämmön eristysratkaisuissa. Polypropeenivaahtoja käytetään esim. ovien ja lattioiden eristysratkaisuissa sekä voimansiirtotunnelien ja ohjausmekanismin suojarakenteissa. Myös erilaisia aihioiksi leikattuja, lämpömuovattuja kevyitä kuitumattoja käytetään sovitekerroksina.

### Muita sovelluksia

Edellä esiteltyjen, suuria määriä muovia käyttävien sovellusten lisäksi ajoneuvoista löytyy lukuisia erityissovelluksia, joissa käytetään sekä yleisettä erikoispolymeereja. Esimerkkeinä mainittakoon erilaiset suoja-aleiköt, ovenkahvat, polkimet, ikkunoiden kerrosrakenteet, joiden välikerroksena PVB tai ionipolymeeri, johdotuskanavat, kiinnitystarvikkeet ja tarrat.

### Yhteenveto

Polymeerimateriaaleilla on pysyvä jalansija mitä moninaisimmissa autonvalmistuksen sovelluksissa. Tulevaisuuden ajoneuvoissa tulemmekin näkemään yhä enemmän kesto- ja kertamuoveista, komposiiteista tai elasteista (kumit, termoelastit) valmistettuja komponentteja. Polymeerimateriaalit tarjoavat koko ajan kehittyessään taloudellisesti ja teknisesti hyvin kilpailukykyisiä vaihtoehtoja muille, perinteisille materiaaleille.

Kehittyviä uusia ratkaisuja, jotka puoltavat polymeerimateriaalien lisääntynyttä käyttöä, ovat mm. keventävät komposiittirakenteet (hiilikuidut, nanokomposiitit), yhdistelmä-rakenteiden prosessoitavuuden kehittyminen, lämmönkestävyyksien parantuminen, iskulujuuden ja maalattavuuden parantuminen. Useissa sovelluksissa, esim. ohjaamon sisustusratkaisuissa, polymeerimateriaalit ovat lähes täysin syrjäyttäneet perinteiset materiaalit, niin että kilpailua on enää eri polymeerimateriaalien välillä.

Muovimateriaalien prosessointiin liittyviä kilpailuetuja ovat esim. rinnakkaisruiskuvalutekniikoiden mahdollistamat hybridirakenteet, koriste-

ratkaisut tai tekstiilillä päällystäminen muotissa.

Monet muovien käyttöä puoltavat tekijät liittyvät ympäristönäkökohdat. Rakenteiden keventyminen pienentää polttoaineen kulutusta. Muovien ja kumien suhteellisen vaikea kierrätettävyydenkin helpottuu, kun konstruoidaan tuotekokonaisuuksia samasta polymeeriperheestä.

Kumien ja termoelastien käyttö ajoneuvoissa on ympäristösyistä perusteltua melun ja värinän vaimentumisominaisuuksien takia. Uusien ns. Green tyre -renkaiden alhaiset vierintävastuksen arvot puolestaan alentavat perinteisiin renkaihin verrattuna polttoaineen kulutusta merkittävästi.

Uusien polymeeripohjaisten ratkaisujen kehittäminen yleensä, ja ajoneuvoteollisuuden tarpeisiin erityisesti, edellyttää huipputason polymeeriosaimista, niin materiaalien sovellushallintaa kuin prosessointiosaamista. Hybridiratkaisujen hyväksikäyttö edellyttää lisäksi kaikkien materiaali-ryhmien ominaisuuksien ja yhdisteltävyyden hallintaa.▲▲

### Tietolähteet:

[www.omnexus.com](http://www.omnexus.com) :

Automotive industry likes polymers I – Economic and Technical outline

(February 2, 2004)

Automotive industry likes polymers II – Exterior and structural parts

(February 11, 2004)

Automotive industry likes polymers III – Interior parts

(March 3, 2004)

Automotive industry likes polymers Part IV. Under-the-hood parts

Muovitermit, julkaisija

Muoviyhdistys ry 1992,

ISBN 951-9271-24-4

Muovi-plast 5/2004

Plastforum 12/1997

Plastforum 7/2002

Plastics Engineering Europe,

October 2004

Autojen liikettä mittaavat anturit sisältävät etu-takasuuntaista liiketilaa mittaavia alhaisten ja korkeiden kiihtyvyyksien antureita, sivusuuntaista liikettä ja kiihtyvyyttä mittaavia sekä pyörimisliikettä mittaavia antureita. Näiden antureiden valmistuksessa käytetty johtava teknologia on joko pii- tai kvartsipohjainen MEMS (MicroElectroMechanicalSystems = Mikro-ElektroMekaaniset järjestelmät). Nykyinen kehitys on menossa kohti piipohjaisia järjestelmiä.

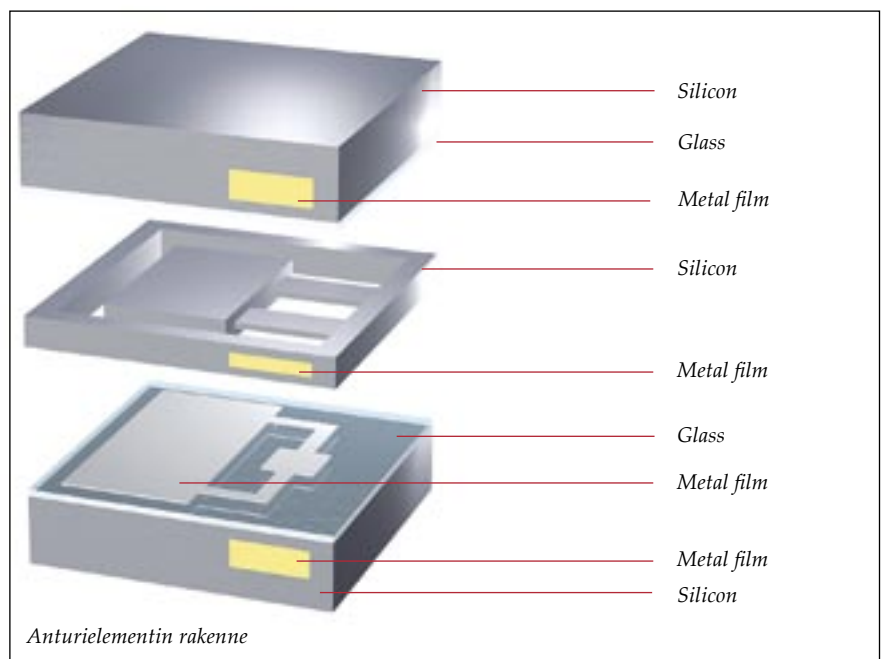
Hannu Laatikainen, Vice President, Sales and Marketing, Automotive Business Unit Head of VTI Technologies Frankfurt Branch; Risto Lahtinen, Competence Center Manager, Design Services

# Autojen liikettä mittaavista antureista tulossa yhä enemmän piipohjaisia

MEMS-komponentit sisältävät tyypillisesti aistivan osan, joka muuntaa fyysisiä ilmiöitä sähköiseksi signaaliksi, sekä signaalia määrittelevän elektronikan, joka voi olla joko oma itsenäinen virtapiirinsä tai valmiiksi integroitu samaan piiosaan. Lisäksi komponentteihin kuuluu lopullinen kytkentä ja pakkauskotelo.

Pakkauskotelo on usein merkittävä kustannustekijä piiantureissa. Kotelo täytyy suunnitella niin, että se vaikuttaa mittaustarkkuuteen mahdollisimman vähän. Tavanomaisia puolijohdekoteloita ei voi käyttää. Useimmat anturit vaativat erityisen, pehmeällä materiaalilla kuten silikonigeelillä täytetyn kotelon sisällä.

Liikeanturien sovellukset sisältävät erilaisia aktiivisia ja passiivisia turvallisuusjärjestelmiä. Volyymillä mitattuna suurin yksittäinen tuoteryhmä tällä hetkellä ovat autojen turvatyynyjen korkeita kiihtyvyyksiä mittaavat (tyypillisesti 35-200g) anturit. Jokainen turvatyynyjärjestelmä sisältää yhdestä viiteen kiihtyvyyksianturia. Useimmat näistä antureista ovat yksiakselisia kiihtyvyyksiantureita, jotka pohjautuvat pintamikromekaniikkaan ja kapasitatiiviseen ilmaisuun. Kaksiakselisten anturien osuus turvatyynyjen ohjauksyksiköissä on kasvussa ja niitä käytetään sekä edestapäin että sivulta tapahtuvien törmäysten havaitsemiseen. Jotkut järjestelmät sisältävät myös kulmittaisen liikkeen antureita ajoneuvon kaa-



tumisen havaitsemiseen sekä alhaisten kiihtyvyyksien (3-5g) mittaustantureita pystysuuntaan tapahtuvan kiihtyvyyden havaitsemiseen.

Toiseksi suurin sovellusalue ovat edistyneiden sähköisten jarrutusjärjestelmien (Electronic Stability Program, ESP tai Vehicle Stability/Dynamic Control) anturit. Nämä järjestelmät sisältävät tarkan kulmaliikeen anturin, jotka nykyään ovat joko kvartsipohjaisia haarukka-antureita, kapasitatiivisia, väriseviin gimbal-

hin perustuvia piipohjaisia antureita tai silikonin ja mekaanisten värähtelevien osien yhdistelmiä. Nämä anturit mittaavat kulmittaista pyörimisliikettä auton pysty akselin ympäri. Jokainen ESP-järjestelmä vaatii lisäksi tarkan, sivusuuntaista kiihtyvyyttä mittaavan yksikön ja nelivetoautot vaativat myös pitkittäiskiihtyvyyden mittauksen. Alhaisia kiihtyvyyksiä (1-2g) mittaavat anturit pohjautuvat korkeiden herkkyyksivaatimusten ja nollavirheperiaatteen vuoksi mikromekaniikkaan.



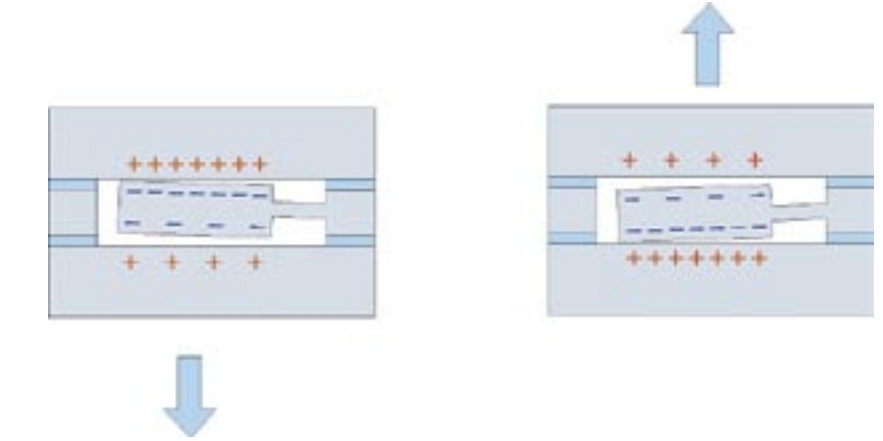
Kolmas merkitävä sovellusalue ovat sähköiset jousitusjärjestelmät. Näitä ovat joko ilmanpaineeseen pohjautuvat tai sähköisesti ohjatut iskunvaimennin-pohjaiset järjestelmät, joihin tyypillisesti sisältyy kolmesta viiteen kiihtyvyyssanturia. Kolme näistä on alhaisia kiihtyvyyksiä (1-3g) mittaavia antureita, jotka mittaavat auton pysty- ja vaakasuuntaista liikettä. Kaksi lisäanturia mittaavat etuakselin pystyliikettä, jos järjestelmä ei jo sisällä sijaintiantureita. Näiden lisäantureiden täytyy pystyä mittaamaan 12-15 g:n kiihtyvyyksiä. Mikromekaniikka on johtava teknologia myös näiden sovellusten valmistamisessa, johtuen herkkyyalueista ja erittäin korkeista vaatimuksista koskien tärinää ja olosuhteita pyörien lähellä.

On myös joitain uusia sovelluksia, jotka hyödyntävät liiketunnistimia. Näitä ovat hienostuneet varashälytysjärjestelmät, jotka havaitsevat auton liikuttamisen, ja navigointijärjestelmät, jotka hyödyntävät kulmaliikeantureita ja alhaisten kiihtyvyyksien antureita parantaakseen navigointitarkkuutta, kun GPS-signaali ei ole tavoitettavissa tai kun järjestelmä ei pysty tunnistamaan eroa kahden päällekkäin olevan tien välillä.

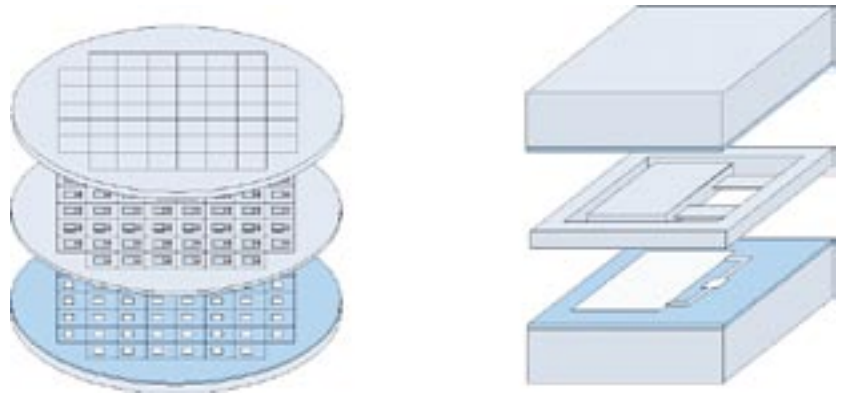
Tulevaisuudessa autoteollisuuden vaatimuksena tulee olemaan eri järjestelmien integroiminen. Ajatuksena ja tavoitteena on yhden mittausyksikön käyttäminen useiden erillisten järjestelmien (aktiivinen ja passiivinen turvallisuus, navigointi, vakionopeudensäätö jne.) hyväksi. Nämä yksiköt, joita kutsutaan liikemittausyksiköiksi (Inertial Measurement Unit, IMU), sisältävät kuusiasteisen mittausvapauden. Tämä vaatii ainakin kolme kulmaliikeanturia ja kolme lineaarisen liikkeen anturia sekä mahdollisesti redundanttisuutta. Nämä sovellukset tarjoavat uuden markkinan kolmeakselisille kiihtyvyyssantureille, joiden valmistus on jo suunnittelun validointivaiheessa, sekä suuria haasteita kehittää integroitu, kolmeakselisuuteen perustuva kulmaliikeanturi. Autoteollisuuden kysyntä on tässäkin tapauksessa uuden teknologian kehitystä ajavana voimana, ja uuden teknologian voidaan olettaa mahdollistavan uusia sovelluksia alemmilla hinnoilla, korkeaa suorituskykyä sekä pienikokoisia komponentteja muihin teollisiin sovelluksiin.

### Kiekoista anturiksi

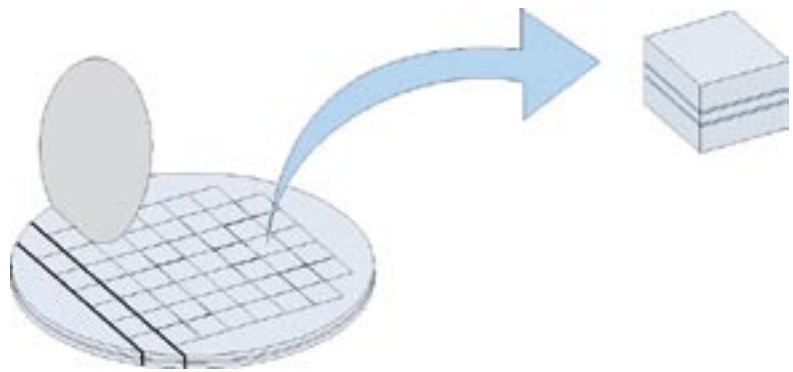
VTI Technologies Oy:n kiihtyvyyssanturit perustuvat MEMS-teknologiaan, jossa mikromekaaniset kiihtyvyyssanturit valmistetaan mikroelektronikan



Kiihtyvyyden aiheuttama massan liike.



Kiekot ennen anodista liittämistä.



Anodisesti liitetyn kiekon sahaaminen antureiksi.

valmistusmenetelmillä. Antureiden valmistus aloitetaan Czochralskin menetelmällä kasvatetuille erilliskiteisille (tai yksikiteiselle) piikiekoille. Erilliskiteisellä (Single crystal) tarkoitetaan atomirakennetta, jossa kaikki atomit ovat tietyllä orientaatiolla järjestäytyneet.

VTI:n "SMALL" anturielementti muodostuu kolmesta kiekosta, kahdesta paksukiekosta (n. 800µm) sekä yhdestä ohutkiekosta (n. 400µm). Kiekot ovat p-tyyppin piikiekoja ja niissä on VTI:lle räätälöity seostus. Paksu- ja ohutkiekojen valmistusprosessit VTI:llä eroavat toisistaan.

Ohutkiekko, josta muodostetaan an-

turin massa on kriittisempi tuotteen ominaisuuksien kannalta. Ohutkiekon prosessointi aloitetaan ohentamalla kiekkoa massan kohdalta anturille halutun kapasitanssivälin muodostamiseksi. Tämän jälkeen massa irrotetaan kehiksestä, muodostetaan jouset sekä ohennetaan ne halutun mekaanisen herkkyyden saamiseksi anisotrooppisella KOH-syövytyksellä. Erilliskiteinen piikieppo mahdollistaa rakenteiden muodostamisen anisotrooppista, merkäkemiallista syövytystä käyttämällä. Valmistusmenetelmälle on ominaista syöpymisnopeuden riippuvuus kidesuunnasta.

Paksukiekon päälle muodostetaan sähköiset läpivientirakenteet märkäsyövytyksellä sekä paksu lasikerros hionta- ja kiillutusprosesseilla. Paksukiekon päälle tehdään fotolitografialla ja sputteroimalla kiinteät metallielektrodit.

Keskimmäinen ohutkiekko ja päällystetyt paksut piikiekot liitetään yhteen anodisesti (anodic bonding), joka on yleisesti käytetty liitosmenetelmä mikromekaniikassa. Liitosmenetelmä perustuu lasin natriumionien siirtymiseen pois liitettävältä rajapinnalta, jolloin rajapinnalla keskittyvän sähkökentän avulla piitä oksidoidaan ja muodostetaan kovalenttisia sidoksia. Anodinen bondaus on herkkä prosessivaihe, johon lisävaikeutta tuo kolmen erillisen kiekon kohdistaminen toisiinsa

Yksittäiset kiihtyvyyssanturielementit irrotetaan kiekkopaketista sahaamalla, jonka jälkeen anturit nypitään sahatuista kiekkoista pesujegeihin ja pestään. Pestyt anturit siirretään höyrystysjegeihin ja antureihin höyrystetään juotettava ja lankabondattava monikerrosmetallipinta.

Testausta varten anturit siirretään teipille, jossa ne kaikki sähköisesti testataan ennen lähettämistä asiakkaalle tai kokoonpanolinjalle.

Yhdelle 150 mm piikiekolle syövytetään rakenteet noin 1500-7500 anturille. Tämä kertoo hyvin kuinka suuri pakkaustiheys MEMS-teknologialla saavutetaan. Makromaailman vastin-komponentteja miniatyrisoimalla työmäärä valmistettua anturiyksilöä kohti pienenee, jolla saavutetaan kilpailuetu kiihtyvyyssanturin hinnassa. Pieni koko kasvattaa valmistusteknisiä tarkkuusvaatimuksia, mutta avaa samalla uusia sovellusmahdollisuuksia. Hyvänä esimerkkinä tästä on sydämentahdistimessa oleva kiihtyvyyssanturi.

### **Anturista komponentiksi**

VTI:n SCA610-sarjan kiihtyvyyssanturit perustuvat nestekidepolymeeristä esivalettuihin koteloihin. Koteloihin asennetaan kiihtyvyyssanturielementti sekä ASIC-piiri, joiden välille luodaan sähköinen kontakti lankaliittämällä.

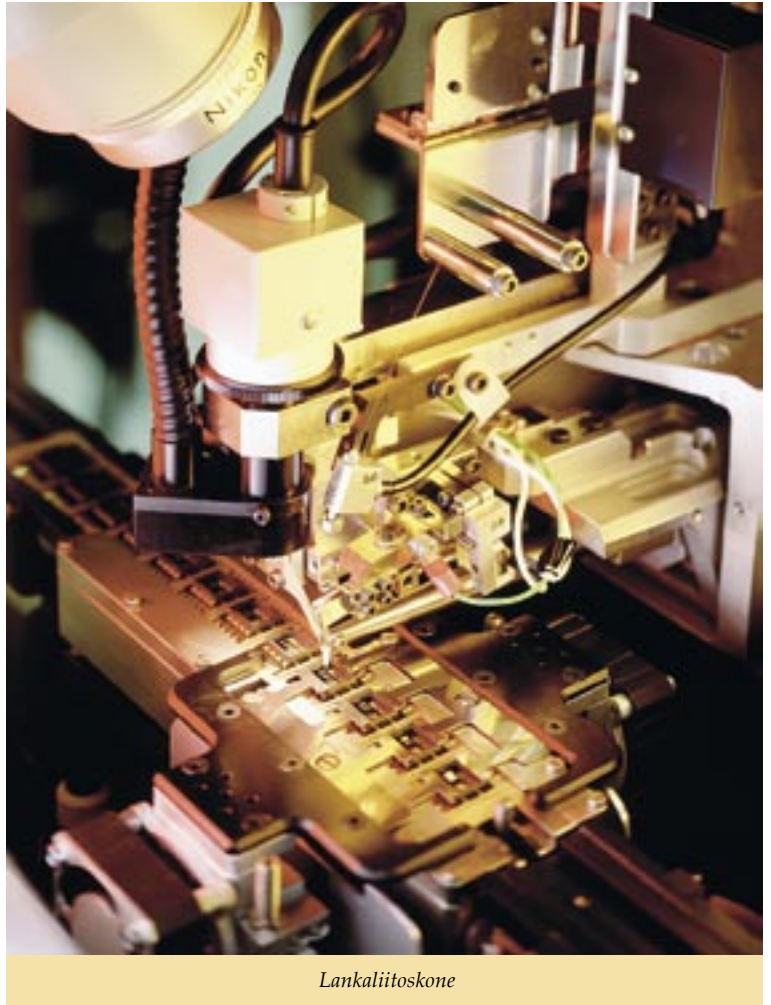
Esivaletut kotelot saapuvat alihankkijalta 12 kappaleen pätiksi leikattuna. Ruiskuvalumateriaalina käytetään nestekidepolymeeriä. Rainat ovat 20 kappaleen metallimakasiineissa, joissa ne puhdistetaan happiplasmalla. Makasiinit on uritettu plasmavirtauksen mahdollistamiseksi.

Tämän jälkeen esivaletut kotelot siirtyvät makasiineissa automaattiselle kokoonpanolinjalle, jossa operaattorit lataavat linjalle materiaaleja, tyhjentä-

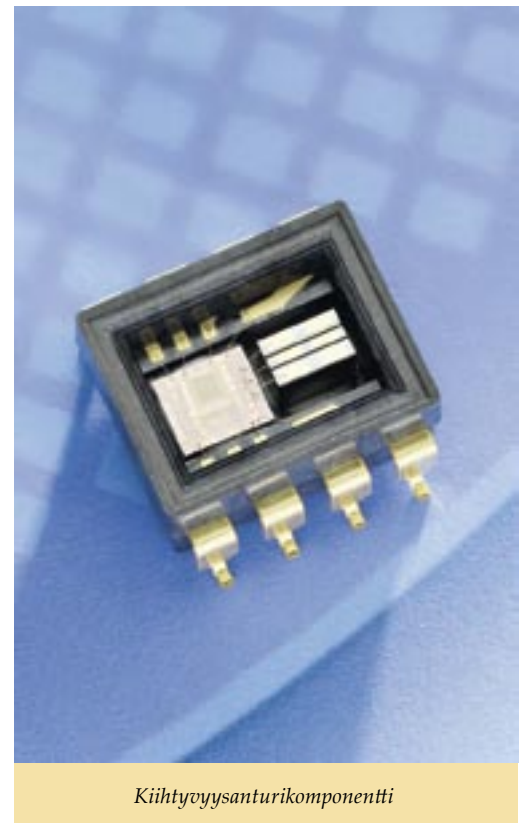
vät ulostulopuskurista valmiit tuotteet testilinjalle, tekevät visuaalisia tarkastuksia sekä korjaavat eri tuotantolaitteiden vikatiloja.

Kokoonpanolinjalla tuotteisiin annostellaan ensin pehmeää silikonipohjaista liimaa sekä ASIC:ia että anturielementtiä varten. Tämän jälkeen koteloihin asennetaan sekä anturi että ASIC-siru. Asennuksen jälkeen linjarobotti siirtää tuotteet makasiineissa uuniin, jossa liimaa kovetetaan +150°C:ssa. Liiman kovettuttua tuotteet puhdistetaan uudelleen argonplasmalla ennen kappaleiden siirtymistä automaattiselle lankaliituskoneelle. Sillä tehdään 25 µm kultalangalla sähköiset kontaktit ASIC:in ja anturielementin sekä kotelon liitosjalkojen välille. Lankaliitoksen jälkeen kappaleille tehdään visuaalinen tarkistus, jossa tarkistetaan lankaliitokset.

Argon-plasmapuhdistuk-



*Lankaliituskone*



*Kiihtyvyyssanturikomponentti*



sella pyritään varmistamaan pintojen puhtaus sekä lankaliittämistä että geelitäyttöä varten. Tällöin ASIC-piirin liitosalueet ovat puhtaat lankaliittämistä varten mahdollisista kontaminaatioista. Lisäksi geeli kostuttaa pinnat hyvin ja suojaa herkkää elektroniikkaa paremmin. Linjarobotti kuljettaa makasiinit plasmapuhdistuksesta geelitäyttöön. Geelitäyttö tehdään automaattisella robotilla, jossa kaksikomponenttinen geeli sekoitetaan ja annostellaan koteloihin. Kovettaminen tapahtuu +150°C:ssa uunissa.

Linjarobotti kuljettaa makasiinit kuivauksen jälkeen kannenasennusrobotille, jossa geelitäytettyihin koteloihin liitetään teräskansi epoksipohjaisen liiman annostelun jälkeen. Linjarobotti kuljettaa vielä makasiinit ensin uuniin kuivumaan ja sen jälkeen ulostulopuskuriin.

Ulostulopuskurista operaattorit siirtävät makasiinit ESS-käsittelyyn (Electronic Stress Screening). ESS-käsittely aiheuttaa komponentille reflow-juotoksen omaisen lämpöshokin. Käsittelyllä pyritään löytämään vialliset tuotteet sekä saamaan tuotteet lähelle sellaista tilaa, jossa ne ovat asiakkaan pintaliitosprosessin jälkeen.

ESS-käsittelyn jälkeen tuotteet kalibroidaan ja irroitetaan rainasta. Samalla tuotteet identifioidaan merkitsemällä komponenttiin mm. tuotetyyppi ja sarjanumero. Kalibroinnissa ASIC-piirin EEPROM-muistiin ohjelmoidaan yksilölliset viritysparametrit, jolloin ulostulojännitteestä saadaan tuotetyypin mukainen. Käytettävät anturit ovat matalan kiihtyvyyden alueen antureita, joten niiden herkkyys saadaan tarkasti viritettyä käyttämällä hyväksi maan vetovoiman aiheuttamaa kiihtyvyyttä. 1g anturin herkkyys viritetään tyypillisesti arvoon 1-2 V/g.

Kalibroinnin jälkeen tuotteet testataan 100 %:sesti lämpötila-alueen yli (-40...+125°C), jolloin saadaan selville niiden lämpötilariippuvuus. Sekä offset-jännitteen että herkkyyden lämpötilariippuvuudelle on asetettu tuotekohtaiset rajat. Testien jälkeen hyväksytyt tuotteet pakataan keloille. Pakkauskone tutkii komponentin 3D-ominaisuudet ja hylkää komponentit, joiden jalat ovat vääntyneet liikaa. Pakkauskone tarkistaa vielä lopuksi kaikki tuotteen mittaustulokset tietokannasta, jolloin hylätty tuote ei voi joutua asiakkaalle.

VTI Technologies Oy perustettiin vuonna 1991 Vantaalla ja on maailman johtava yritys piipohjaisten kapasitiivisten pienkiihtyvyydentureiden suunnittelussa ja valmistuksessa. VTI:llä on laaja osaaminen liikkeen mittauksessa

**CV- Laatikainen Hannu (1954).**

Education: Helsinki Technical College, Engineer, Automation, 1977  
Helsinki School of Economics, Executive MBA, 2000-2001. Earlier positions: VTI Technologies – Managing Director/Director, Sales and Marketing 1996-2000 and Manager, Sales and Marketing, 1991-1995 (Vaisala Technologies); Vaisala Oy, Sensor Systems, Manager, Sales and Marketing, 1982-1991; Sähköliikkeiden Oy, various sales positions 1977-1982.



**CV-Lahtinen Risto (1974).**

Education: Helsinki University of Technology, Electronics Production Technology 1996 ->. Earlier positions: VTI Technologies – Product Line Manager, Industrial Business Unit, 2003-2004 and various engineering positions 1998-2003.

ja tarjoamme ratkaisuja laajalle kansainväliselle asiakaskunnalle kiihtyvyyden, liikkeen, shokin, värinän, kallistuksen ja paineen mittauksissa.

VTI sitoutuu korkealaatuiseen mikromekaniikkaan ja tuotantoon, ja valmis-

taa tuotteita anturielementeistä kokonaisuuden itsenäisiin mittaussyksiköihin. VTI:n anturiosaaminen mahdollistaa sovellukset, jotka parantavat turvallisuutta, terveyttä ja elämän laatua.▲▲

**PYHÄSALMI MINE OY**  
 PL 51, 86801 Pyhäsalmi  
 puh. 08) 769 6111, fax. (08) 780 404  
 e-mail: etunimi.sukunimi@pyhasalmi.com

**INMET**  
MINING

[www.inmetmining.com](http://www.inmetmining.com)





**Kari Laakkonen**, tekninen asiakaspalvelupäällikkö, OMG Kokkola Chemicals Oy FM, 1992 Oulun Yliopisto, Kemian Laitos iMBA, 2001 Vaasan Yliopisto



*Euroopan autoitoimittajat valitsivat Toyota Priuksen vuoden 2005 autoksi.  
Kuva: Toyota Finland*

# HYBRIDIAUTO

## teknistä kikkailua vai arjen kulkuneuvo

Vuosikymmenien ajan autoliikennettä on rasittanut milloin kallis polttoaine, uhka öljyn loppumisesta tai maine yhtenä suurimmista ympäristön saastuttajista. Yhtä kauan sähköautosta on odotettu ratkaisijaa näihin ongelmiin. Sähköauton laaja kaupallinen tuotanto ei ole vielä näköpiirissä, mutta kahden voimanlähteen hybridiautosta on tulossa todellinen vaihtoehto perinteisten bensiini- tai dieselkäyttöisten autojen rinnalle.

Tunnetuin hybridiauto on Toyotan vuodesta 1997 valmistama Prius. Se on saanut paljon huomiota osakseen ja Euroopan autoitoimittajat valitsivat toisen sukupolven Prius-mallin vuoden 2005 autoksi. Tämä osoittaa, ettei hybridiautoa enää pidetä minään automaailman kummajaisena, vaan se edustaa yhtä moottoritekniikkaa muiden joukossa.

Advanced Automotive Battery konferenssissa kesäkuussa 2004 esitetyn ennusteen mukaan vuonna 2005 tullaan valmistamaan yli 250 000 hybridiautoa, mikä on 0,5 % kaikista valmistetuista autoista. Markkinoiden kasvusta on erilaisia ennusteita. Useimmissa ennustetaan valmistuksen ylittävän miljoonan auton vuositason vuoden 2010 tienoilla.

Prius on yksi harvoista alunperin hybridiautoksi suunnitelluista automalleista. Suurin osa markkinoilla olevista hybridiautoista on jonkin olemassa olevan polttomoottoriauton hybridiksi muutettuja versioita. Englanninkielisessä terminologiassa eri tyyppiset hybridiautot kattava yleistermi on "Hybrid Electric Vehicle" (HEV). Termi ei kuitenkaan kerro onko kyse sähkömoottori avusteisesta vai täydellisestä

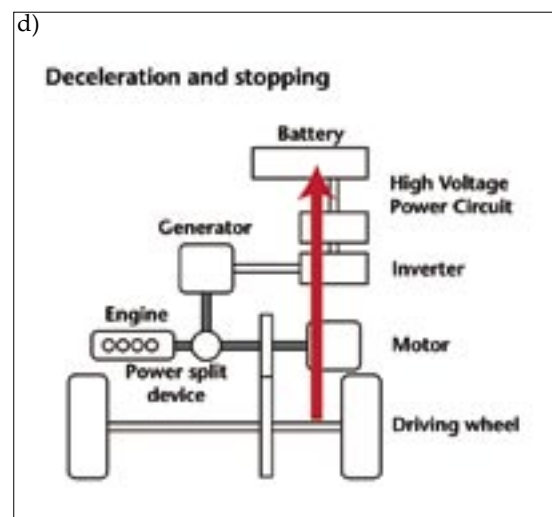
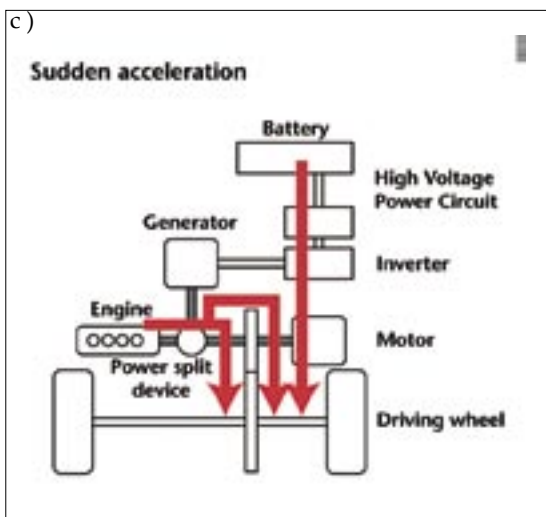
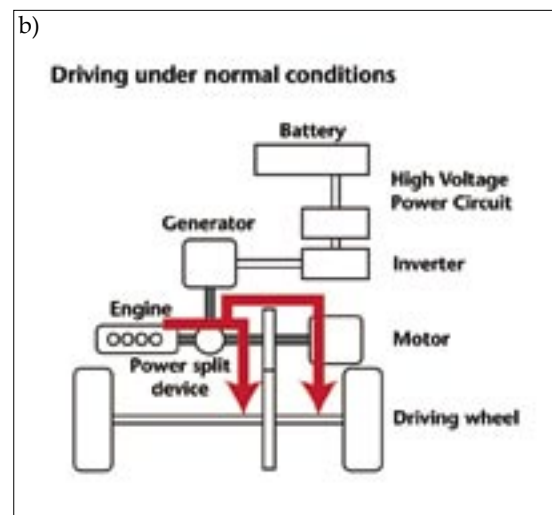
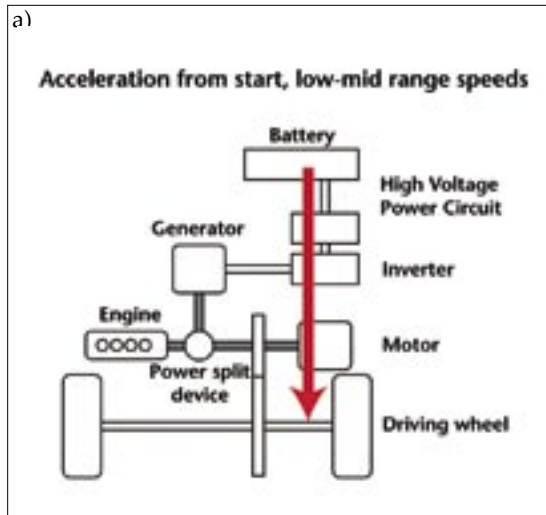
hybridiautosta. **Taulukossa yksi** on kuvattu erilaisten hybriditekniikoiden eroja.

Toyotan lisäksi myös muut japanilaiset autonvalmistajat kuten Honda ja Nissan ovat tehneet runsaasti hybridiautojen kehitystyötä ja Japanista onkin tullut hybriditekniikan edelläkävijämaa. Tämä voimakas panostus on johtanut siihen, että tulevaisuudessa autoteollisuudesta saattaa tulla elektroniikka- ja akkuteollisuuden kehityksen edelläkävijä. Autoihin kehitetyt komponentit saattavat löytää myöhemmin tiensä myös kulutuselektronikkaan. Tämä trendi onkin jo nähtävissä perinteisesti matkapuhelinten ja kannettavien tietokoneiden dominoimilla akkumarkkinoilla.

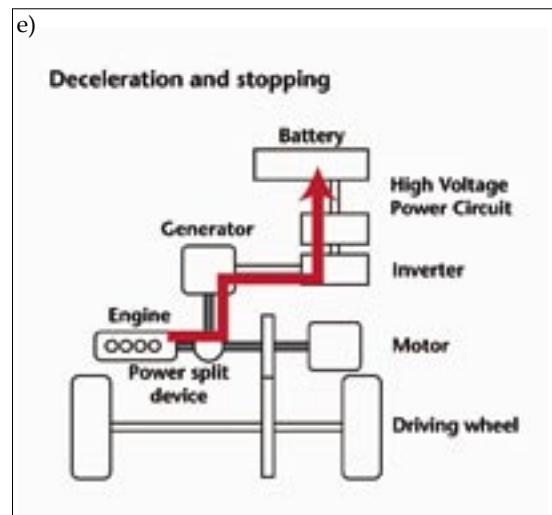
Hybridiautossa akulta vaaditaan pitkää käyttöikää (n. 10 vuotta). Tämä

**Taulukko 1.**

	"Stop & go"-ominaisuus	Akun latausjarrutettaessa	Sähkömoottori avustaa polttomoottoria	Autoa voidaan ajaa sähkömoottorilla	Jännite
"Idle stop"	X				14 V
Matalajännitteinen "mild HEV"	X	X			14 – 42 V
Korkejännitteinen "mild HEV"	X	X	X		42 – 144 V
"Full HEV"	X	X	X	X	> 144 V



Kaaviot: Toyota Finland



on erittäin kova vaatimus, kun akku puretaan ja ladataan jatkuvasti suurilla energiamäärillä. Itsestään selvää on, että akun on toimittava moitteettomasti kuumassa ja kylmässä. Parhaiten toimivaksi akuksi on osoittautunut nikkeli-metallihydridiaku (NiMH), josta on jo laajasti kokemuksia pitkältä ajalta. Onpa akku jopa yllättänyt valmistajansakin odotettua paremmalla kestävyydellä. "Idle stop" ja "mild HEV" malleissa käytetään myös lyijy- ja Li-ioniakkuja. Yleisesti ennustetaan, että Li-ioniakut syrjäyttävät NiMH-akut kuten on jo käynyt kannettavissa tietokoneissa ja matkapuhelimissa. Li-ioniakun virrantiheys on kolminkertainen NiMH-akkuun verrattuna. Aikaisemmin Li-ioniakun yleistymistä on hidastanut sen korkea hinta, mutta viime vuosina hinta on painunut lähelle NiMH-akun hintaa. Hintaeroa on enää 0,1 \$/Wh. Pelkkä positiivinen hintakehitys ei kuitenkaan riitä, vaan tarvitaan myös turvallisuuden ja kestävyteen liittyvää teknistä kehitystä. Mikäli tässä onnistutaan tulee meillä olemaan entistä parempia akkuja myös sähkötyökaluihin

*Hybridiauton polttomoottorin ja sähkömoottorin työnjako erilaisissa ajotilanteissa:*

(a) liikkeellelähtö ja hidas eteneminen tapahtuu sähkömoottorin avulla

(b) tasaisessa ajossa käytetään polttomoottorin rinnalla sähkömoottoria

(c) voimakkaassa kiihtytyksessä sähkömoottori tuo lisätehoa ottamalla energiaa akusta

(d) hidastettaessa sähkömoottori lataa akkua

(e) tarvittaessa akkua voidaan ladata polttomoottorin avulla.

ja matkapuhelmiin.

Jos visio hybridiautojen yleistymisestä toteutuu sillä tulee olemaan suuri merkitys akuissa käytettävien metallien kulutukseen. Tärkeimpiä NiMH- ja Li-ioni akuissa käytettäviä elektrokemiallisesti aktiivisia metalleja ovat nikkeli ja koboltti. Hybridiauto tarjoaakin yhden suurimmista tulevaisuuden markkina-

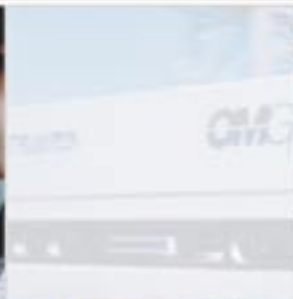
potentiaaleista näille metalleille riippumatta siitä kumpi nykyisistä akkuteknologioista tulee dominoivaksi. Myös muita käyttökelpoisia akkuteknikoita ja energialähteitä tunnetaan, mutta tuskin niistä mikään ehtii kaupallisesti merkittäväksi tämän vuosikymmenen aikana. ▲▲

Improving Your World



OM Group, Inc. on maailman johtava metallipohjaisten erikoiskemikaalien ja pulvereiden tuottaja. Koboltin tuottajana ja jalostajana OMG on maailman suurin, nikkelin tuottajana suurimpien joukossa.

OMG Kokkola Chemicals Oy  
OMG Harjavalta Nickel Oy



Lisätietoja osoitteesta  
[www.omgi.com](http://www.omgi.com)



## What do sharks and our tubes and fittings have in common?



### Unbeatable performance in harsh environments!

*Outokumpu Stainless is a core business within Outokumpu, a dynamic metals and technology group, operating worldwide and marketing its metals, metal products, technology and services to customers in a wide range of industries. By focusing on the Group's core competence, that is, extensive knowledge of metals processing, Outokumpu's aim is to be leader in its core businesses.*

Outokumpu Stainless Tubular Products offers a wide range of stainless tubes, pipes, fittings and flanges for extreme conditions. Our large resources and decades of experience ensure products of the highest quality at short lead-times and reliable deliveries. Our product range includes: Process pipes, hygienic tubes, construction tubes, heat-exchanger tubes, decorative tubes, automotive tubes, spiral-welded tubes, welded fittings, threaded fittings and flanges. Contact us for more information!

**OUTOKUMPU**

[www.outokumpu.com](http://www.outokumpu.com)



Missään muualla maailmassa ei löydy vastaavaa: korkeakoulua, joka osana autoinsinöörien koulutusta suunnittelee ja rakentaa ajoneu-



Kuva: Pasi Perhoniemi, Stadia

voja, jotka kiinnostavat jopa autotehtaita! Miten tämä on mahdollista Suomessa, jossa autoteollisuuskin on volyymiltaan vähäistä?

Matti Parpola, yliopettaja, Autolaboratorion johtaja, Helsingin ammattikorkeakoulu Stadia

# Kalevankadun autotehdas - ajoneuvoja oppilastöinä

Resepti on periaatteessa yksinkertainen: Annetaan voitontahtoiselle tiimille hyvä tietopuolinen koulutus, kunnan pelivälineet ja riittävän kova haaste. Ohjataan projektia asenteella, jossa on oikeassa suhteessa innostusta, kritiikkiä, asiantuntemusta, vaatimista ja jopa takapuoleen potkimista. Näin saadaan opiskelijatiimistä irti luova prosessi, joka näännyttää, mutta myös palkitsee. Kun experimental-auto esitellään medioille koeajoradalla tai kun se kiiltelee uutuutena autonäyttelyn standilla, ei mikään vedä vertoja tuntemukselle: "Me teimme sen! Ja siinä sivussa suoritimme tutkinnon, jolle saa hakea vertaa kaukaa."

Resepti on yksinkertainen, mutta se ei onnistu keneltä vain. Opiskelijoiden on oltava intohimoisen kiinnostuneita autoista, ja lisäksi heillä on oltava aimo annos suomalaista sisua. Mutta myös kokilla (vastuullisella vetäjällä) on oltava kunnolla kokemusta tuotekehityksen johtamisesta.

Helsingin ammattikorkeakoulu Stadian Autolaboratoriossa on 14 vuoden aikana nähnyt päivänvalon jo kahdeksan prototyyppeä ja niiden myötä yli 50 insinöörityötä. Projekteista ensimmäinen oli vuonna 1991 valmistunut hydrostaattisen tehonsiirron tutkimusajoneuvo, Hydro CVT. Tässä ajoneuvossa mekaaninen voimansiirto on korvattu polttomootorin käyttämällä säätötilavuuspumpulla, josta hydraulinen teho johdetaan letkuilla pyörillä oleville säätötilavuusmootoreille. Välytysuhde muuttuu portaatta, ja pyörien nopeuksia valvomalla voidaan sekä akseleiden väliset että pyöri-

en keskeiset tasaustoiminnot elektronisesti säätää juuri halutuiksi. Ajoneuvo palvelee havainnollisesti ajoneuvohydrauliikan opetusta vielä tänäkin päivänä.

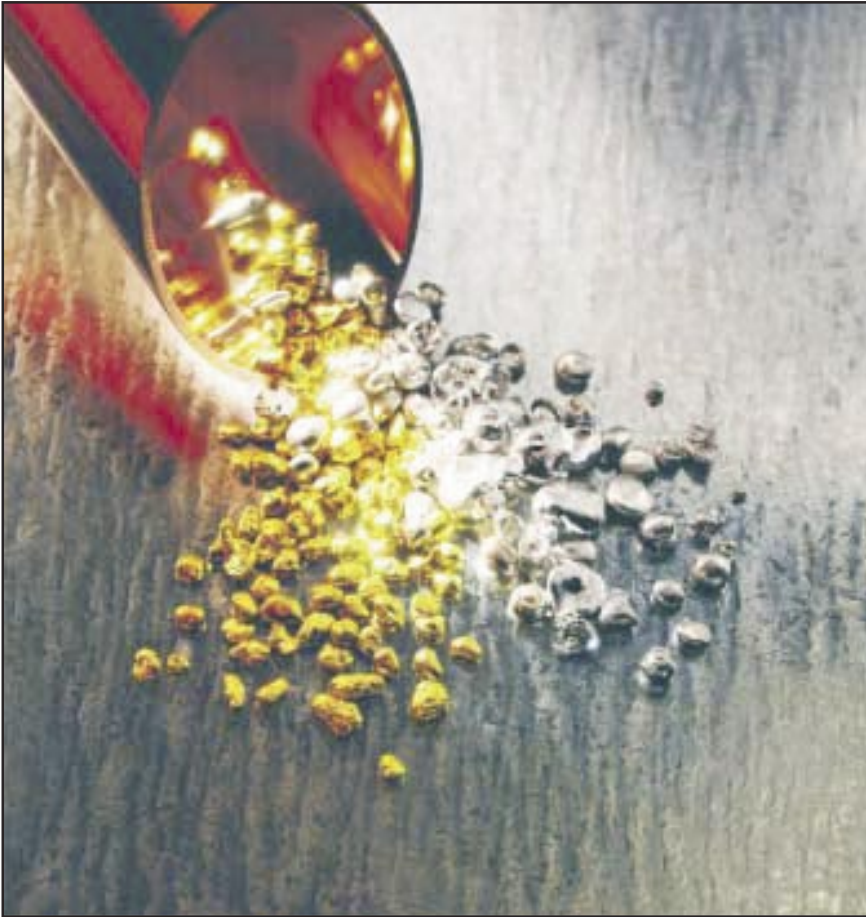
Hydroautoprojektin rohkaisemana laboratorio käynnisti ensimmäisen todellisen autoprojektinsa, jossa tavoitteena oli itse toteuttaa myös kaikilta osin toimiva ja viimeistelty umpikori. Samalla käynnistyi yhteistyö Taideteollisen korkeakoulun kanssa; yhteistyö, joka siitä lähtien on erinomaisin tuloksin ollut korkeakoulujen vakiintunut yhteistoimintamuoto. Lähes kolmen vuoden ja noin 30 000 työtunnin jälkeen valmistui kaupunkiauto Ibana, joka näyttävästi esiteltiin Pariisin automessuilla lokakuussa 1994. Yli 1,2 miljoonaa näyttelyvierasta oli todistamassa, kun Stadian Autolaboratorio sananmukaisesti ajettiin maailmankartalle. Ibanan alumiiniprofiileista hitsattu itsekantava korikehikko painoi vain 77 kg ja koko autokin vain 640 kg. Etuvetoisen auton voimalaite oli 550-kuutioinen 2-sylinterinen bensiinimootori, ja vaihteisto 2+1 -vaihteinen puoliautomaatti.

Lähes yhtä suurta huomiota herätti vuonna 2000 Geneven autonäyttelyssä esitelty RaceAbout 2000, 2-paikkainen roadster. Autoprojekti alkoi joulukuussa 1997, ja se suunniteltiin 100-prosenttisesti 3D CAD-ohjelmilla. Auton kantava rakenne muodostuu niittaamalla kootusta, suurilla kynnykskoteloilla jäykistetyistä alumiinimokokista, johon on pultaamalla kiinnitetty sekä akselistot että voimalaitteen kannattavat apurungot. Apurungot on hitsattu ruos-

tumattomasta teräsputkesta (AISI 304). Poikittain sijoitettu moottori/vaihteistoyhdistelmä on Saabin valmistama, ja 2-litrainen moottori on turboahdettu ja välilyhdytetty. Hiilikuituisten koripaneelien ansiosta auto on kevyt (820 kg), ja suorituskyky hätäkähdyttävä: kiihdytysaika 0-100 km/h vain 5,4 sekuntia! Projektin korkeatasoisuutta kuvastaa sekin, että auto on rekisteröity tieliikenteeseen tunnuksella RA-2.

2000-luvun puolella laboratoriosta on valmistunut autoja kiihtyvällä tahdilla: Kaksi kansainvälisissä kilpailuissa loistavasti menestynyttä Formula Student -kilpa-autoa, liikkuva pakokaasujen tutkimuslaboratorio "Nuuskija-auto" sekä tuoreimpana kesällä 2004 esitelty Bioneuvon kokonaan haponkeskeräykseen tarkoitettu jäteauto. Vallankumouksellista viimeksi mainitussa on EU:n uusimmat hygieniavaatimukset täyttävä tekniikka, jonka avulla jäteastiat pestään autossa aina tyhjennyksen jälkeen.

Materiaalitekniikan hyvä tuntemus sekä eri valmistustekniikoiden hallinta ovat Stadian Autolaboratorion tuotekehitysosaimisen kulmakiviä. Oppimista tukevia, vaikeita ratkaisuja ei pelätä. Esimerkkinä vaikkapa Bioneuvon kokonaan haponkestävästä teräksestä rakennettu kuormatila. Mielenkiintoisia uutuusratkaisuja on odotettavissa myös laboratorion uusimman autoprojektin myötä: Syksyllä 2006 päivänvalon näkee suomalainen visio tulevaisuuden taksista.▲▲



**Boliden Harjavalta Oy**  
on merkittävä osa  
uutta Bolidenia.

**Uusi Boliden on yksi  
maailman johtavista  
kuparin ja sinkin  
kaivos- ja sulattoyhtiöistä.**

Uusi Boliden syntyi Bolidenin ja Outokummun kaivos- ja sulattoimintojen yhdistämisestä. Kuparin sulatuksessa se on yksi Euroopan suurimmista yhtiöistä. Vaikka tiemme Outokummun kanssa erosivat, kiinteä yhteistyö välillämme jatkuu edelleen. Me jatkamme Harjavallan sulaton ja Porin kuparielektrolyysin kunniakkaita perinteitä.

Päätuotteemme on puhdas katodikupari. Tärkeitä tuotteita ovat myös kulta, hopea ja rikkihappo. Metallinvalmistus on vaativaa teollisuutta ja meillä sitä tekevät huippuammattilaiset.

**Boliden Harjavalta valmistaa korkealaatuista kuparia maailman parhaalla menetelmällä!**

**NEW BOLIDEN**

[www.boliden.com](http://www.boliden.com)

**Miranet**  
MINING DRILLING EXPLORATION

PUH. +358-(0)9-801 9671  
[www.miranet.fi](http://www.miranet.fi)

# Normet osui kaivosautollaan lupaavaan markkinarakoon

Teksti Bo-Eric Forstén Kuvat Normet Oy

Normetin, lähinnä maanalaisten kaivosten henkilö- ja tavarankuljetuksiin kehittämä Normet RBO on puolen vuoden olemassaolonsa aikana herättänyt kiinnostusta ympäri maailman. RBO on rakennettu korvaamaan tavallisia maastureita, joita käytetään yleisesti kaivoksissa huoltoajoihin.

Normet esitteli uutukaisensa kansainväliselle yleisölle syyskuussa MINE-xpo-messuilla Las Vegasissa ja palautte on yllättänyt valmistajankin.

”RBO on suunniteltu maanalaista käyttöä silmälläpitäen. Olemme kuitenkin saaneet erittäin paljon kyselyjä myös avolouhosten puolelta. Olemme perinteisesti palvelleet ensi kädessä maanalaisia kaivoksia ja nyt meillä avautuisi mahdollisuus lähestyä uutta asiakasryhmää. Meidän on tutkittava mitä se meiltä vaatii”, toteaa Normetin toimitusjohtaja *Jari Osmala*.

”Markkinointisuunnitelmissamme olemme asettaneet tavoitteeksi 10 prosentin osuuden maanalaisten kaivosten huoltoajoihin. Tuotantolinjammekin on mitoitettu sen mukaan. Laskemme pystyvämme valmistamaan 200 autoa vuodessa, mutta luonnollisesti meillä ei ole mitään laajennuksia vastaan, jos markkinat sitä vaativat”, jatkaa hän.

Kehitysprojektiä johtaneen alue-

päällikkö *Jukka Pihlavan* mukaan RBO ei sellaisenaan sovellu avolouhoksen kaikkiin tarpeisiin.

”Ensinnäkin sitä ei ole suunniteltu tieliikenteeseen rekisteröitäväksi ja toisaalta sen huippunopeus 50 km/h saattaa olla riittämätön”.

Projektin kantavana ideana on ollut, että RBO on kokonaan suunniteltu maanalaista käyttöä varten.

Ulkokuori on tehty ääriolosuhteita kestäväksi, ja sama koskee kaikkia komponentteja. RBO:ssa on esimerkiksi suljettu kaksinkertainen öljyjäähdytetty levyjarrujärjestelmä, kun maastureissa on avoimet levyjarrut. Vastaavalla tavalla huomiota on kiinnitetty ohjaukseen, jousitukseen, vaihteistoon ja ennen kaikkia turvallisuuteen. Ohjaamo on sekä FOPS- (suojaus putoavista esineistä) että ROPS- (suojaus kaatumistapauksissa) hyväksytty.

”Ajomukavuus, helppokäyttöisyys ja huolettavuus ovat myös olleet keskei-



## Normet Oy

Normet on erikoistunut maanalaisten kumipyöräisten työkonoiden valmistamiseen. Vuonna 1962 perustetun yhtiön kotipaikkakuntana on Iisalmi. Normetin liikevaihto oli vuonna 2004 yli 40 miljoonaa euroa. Yhtiö työllistää 210 henkilöä.

## Normet RBO

Ulkomitat: korkeus 2320 mm, leveys 2000 mm, kokonaispituus 5260 mm  
Ohjaamossa on tilaa viidelle hengelle. Avolavalle voidaan lisäksi lastata 1000 kg.  
Moottori 130 hp Dieselmoottori (Caterpillar tai Deutz)

siä alueita suunnittelutyössä”, toteaa *Jukka Pihlava*.

Maan alla korroosio ja ajoradan kunto asettavat ajoneuvon kestävyyskoetukselle. Maastureiden käyttöikä vaihtelee näissä olosuhteissa 8 kuukaudesta 3 vuoteen. Normet takaa RBO:lleen tuplakäyttöiän. Hinta on kuitenkin pystytty pitämään kilpailukykyisenä kaivoskäyttöön varustettuun maasturiin verrattuna.

Yhtiön perinteiset asiakkaat, maanalaiset kaivokset, ovatkin huomanneet tulokkaan.

”Sarjatuotanto on juuri lähtenyt käyntiin, mutta olemme jo päässeet bisneksen makuun. Prototyyppejä seurasi 10 kappaleen nollasarja, joka on sijoitettu ympäri maailmaa. Tärkeimmällä markkina-alueellamme Australiassa meillä on arvokas referenssi. Olympic DAM uraanikaivos otti välittömästi yhden RBO:n testattavaksi. Siitä kysyntä on lähtenyt vyörymään”, toteaa toimitusjohtaja *Jari Osmala*.▲▲



Normet Oy:n aluepäällikkö *Jukka Pihlava* (vas) ja toimitusjohtaja *Jari Osmala* Normet RBO:n synnyinsijoilla Iisalmessa.





Ajokki ja tiimiläiset kesällä 2004 Ranskassa, Nogarossa.



Remmi-Team on Tampereen Teknillisen Yliopiston poikkitieteellinen opiskelijakerho, jonka tavoitteena on suunnitella ja rakentaa mahdollisimman vähän polttoainetta kuluttavia erikoisajokkeja. Remmi-Team on perustettu 1976, jolloin ensimmäinen kilpailu järjestettiin Suomessa.

Teksti ja kuvat: Pekka Anttila, puheenjohtaja ja Antti Peuhkurinen, pääsuunnittelija

Vuosien aikana Remmi-Team on saavuttanut menestystä kotimaassa ja ulkomailta. Kansainvälisiä palkintoja on kertynyt yli 70, joista opiskelijasarjan voittoja on 13. Suomenmestariksi Remmi on yltänyt 14 kertaa. Remmin ennätys ja myös nykyinen suomenennätys vuodelta 2003 on 2914 km/l, eli 0,0343 l/100km.

Tarkoituksena näillä ajokeilla on ottaa osaa eri puolilla maailmaa järjestettäviin kilpailuihin. Polttoaineena kilpailuissa käytetään normaalia, vapaasti myytävää 98-oktaanista lyijytöntä bensiniä ilman mitään lisäaineita. Myös muiden energiamuotojen käyttö on nykyisin yleistynyt kilpailuissa. Säännöissä on tarkat määräykset mm. ajokin raidelevydestä, akselivälistä, korkeudesta ja turvallisuuden vaikuttavista tekijöistä. Kilpailussa ajetaan tietty kierrosmäärä ennalta määrättyllä keskinopeudella. Tämän perusteella lasketaan kulutus.

### Remmi 6c

29-vuotisen taipaleensa aikana Remmi-Team on rakentanut useita ajokkeja. Remmillä on ollut kaiken kaikkiaan kahdeksan eri kehitysversiota ajokeistaan. Uusin ajokki kulkee nimellä Remmi 6c. Ensimmäinen versio, Remmi 6a, valmistui jo vuonna 2000.

Ajokin muoto on suunniteltu CAD-

avusteisesti. Tavoitteena oli mahdollisimman aerodynaaminen muoto kilpailusääntöjen sallimissa rajoissa. Suunnitelman pohjalta valmistettiin 1/4-pienois-malli vanerista tuulitunnelitestejä varten. Tuulitunnelitestiä jälkeen rakennettiin 1:1 muottilesti styroksilevystä. Muottilesti pinnoitettiin lestipinnoitteella. Negatiivimuotti tehtiin laminoimalla polyesterihartsia ja lasikuitua.

Ajokki rakentuu komposiittiperusteisen rungon päälle. Rungon rakennusaineina ovat hiilikuitu ja PVC-vaahtolevy. Rungon muotti on valmistettu lastulevystä. Hartsina on käytetty epoksihartseja. Kori on hiilikuituepoksilaminaattia ja jäykisteinä on käytetty Nomex-hunajakennoa. Kori on käsin laminoitu lasikuituiseen negatiivimuottiin. Ikkunat on muotoiltu alipaineessa negatiivimuotin avulla polyeteenilevystä.

Itsesuunnittelun ja -rakennetun moottorin materiaalina on korkealuokkainen alumiiniseos (7075). Sylinteriputki ja sylinterin kannessa oleva palotila ovat valurautaa. Kampi- ja nokka-akseli sekä venttiilit ovat terästä. Normaalisti lennokkimootoreissa käytettäviä sytytystulppia on muokattu jatkamalla elektrodeja laserhitsaamalla niihin nikkelilankaa. Näin kipinä on saatu lähemmäksi palotilan keskipistettä ja palotapahtuma optimaalisemmaksi.

Voima välitetään kampiakselilta keskikipakytimen ja ketjujen välityksellä takapyörälle. Keskikipakokytkin on edelleen kehitetty moposkooterin vastaavasta ja käytetyt materiaalit ovat pääosin terästä. Ketjun moottorin päässä oleva ratas on yleinen teollisuudessa käytettävä teräsratas ja takapyörän puolella oleva ratas on vesileikattua alumiinia.

Erikoisvalmisteiset pyörien navat sekä vannekehät ovat alumiinia. Pinnat ovat terästä. Pyörien akselit on koneistettu akseliteräksestä. Renkaat ovat joko tubeless-tyyppisiä tai sitten niitä käytetään lateksisärenkaan kanssa.

Lajista kiinnostuneiden yhteistyökumppaneiden avulla Remmi-Team saa käyttöönsä viimeisimmät valmistusmenetelmät ja materiaalit sekä uusimman tietämyksen. Yhdistettynä tiimiläisten innovatiivisuuteen nämä asiat takaavat Remmi-Teamille erinomaiset edellytykset pysyä lajin kärjessä. Opiskelijoille kerhomme tarjoaa hyvän tilaisuuden osallistua tekniikan eri osa-alueiden yhteensovittamiseen ja oman osaamisen kasvattamiseen itse tekemällä. Uudet yhteistyökumppanit ovat myös aina tervetulleita mukaan tervehenkiseen tekniikan tekemiseen ja suomalaisen tekniikan osaamisen viemiseen maailmalle. ▶▶

[www.students.tut.fi/~remmi](http://www.students.tut.fi/~remmi)

# Tiede & Tekniikka

Professori Veli-Tapani  
Kuokkala ja  
Tkt Taina Vuoristo:  
Myötönpeuden vaikutus  
terästen muodonmuu-  
toskäyttämiseen.  
Sivut 36-44.

Michael Gasik, Professor of  
Materials Processing and  
Powder Metallurgy labora-  
tory in Helsinki University  
of Technology, Espoo:  
Materials challenges in fuel  
cells and hydrogen technol-  
ogy. Pages 45-51.



**CV - Veli-Tapani Kuokkala** is currently Professor of Materials Science at the Institute of Materials Science of Tampere University of Technology, where he received his M.Sc. degree in 1977 and his Doctor of Technology degree in 1984. He was a Long Term Visiting Staff Member at Los Alamos National Laboratory in 1989-90, and has held several teaching and research positions at Tampere University of Technology before being appointed to his current position in 1998. His main fields of interest are high strain rate behavior of materials, elastic properties and ultrasonic attenuation in solids, computer applications in electron microscopy, and computer-controlled materials testing.



**CV - Taina Vuoristo** received her M.Sc. degree in Materials Science from Tampere University of Technology (TUT) in 1997 (major in Metallic Materials and minor in Production Engineering) and her Doctor of Technology degree in 2004 (major in Materials Research and minor in Machine Design). Currently she is Head Assistant at the Institute of Materials Science in TUT. Her main fields of interest are mechanical behavior and testing of materials, dynamic behavior of polymer composite roll cover materials in paper machines, and high strain rate behavior of sheet steels.

# Myötönopeuden vaikutus terästen muodonmuutokäyttäytymiseen

## Johdanto

Uudet teolliset innovaatiot, tiukentuvat ympäristömääräykset sekä muuttuvat toimintaolosuhteet luovat jatkuvaa tarvetta sekä kehittää uusia materiaaleja että toisaalta hyödyntää paremmin jo olemassa olevien materiaalien ominaisuuksia. Suurempi lujuus, parempi muovattavuus, rakenteiden keveys sekä entistä useammin myös soveltuvuus käyttökohteisiin, joissa muodonmuutosnopeudet ovat tavanomaista suurempia, ovat esimerkkejä nykymateriaaleille asetettavista vaatimuksista. Kohteita, joissa materiaaleihin voi kohdistua huomattavan suuria hetkellisiä kuormitusnopeuksia ovat mm. autojen kantavat rakenteet ja törmäyssuojat, erilaiset murskainlaitteet, paperikoneiden pinnoitetut telat sekä useat materiaalien valmistustekniikat. Jotta suurille kuormitusnopeuksille altistuville rakenteille ja komponenteille voitaisiin valita oikeat materiaalit tai niiden käyttäytymistä pystyttäisiin simuloimaan laskennallisesti, on valittavien materiaalien käyttäytyminen tunnettava myös muodonmuutosnopeuden funktiona. Muun muassa autoteollisuus edellyttää terästeiltä luotettavaa dataa näiden toimittamien terästen käyttäytymisestä myös suurilla muodonmuutosnopeuksilla. Tätä dataa tarvitaan arvioitaessa ja mallinnettaessa sekä materiaalien ja rakenteiden lujuutta että niiden energian absorptiokykyä törmäystilanteissa.

Käytännössä lähes kaikkien materiaalien mekaaninen käyttäytyminen riippuu muodonmuutosnopeudesta. Yleensä tämä riippuvuus ilmenee siten, että materiaalien lujuus (muodonmuutosvastus) kasvaa muodonmuutosnopeuden noustessa, eli tietyn plastisen myötymän saavuttaminen vaatii suuremmalla myötönopeudella suuremman ulkoisen jännityksen. Niin sanotulla kvasistaattisella alueella lujuuden kasvu muodonmuutosnopeuden funktiona ei useimmiten ole vielä kovin merkittävää, mutta tietyn kynnsarvon

yläpuolella materiaalien hetkellinen dynaaminen lujuus voi olla jopa kaksinkertainen hitaaseen kuormitustilanteeseen verrattuna. Metalleilla ja muilla kiteisillä materiaaleilla, joilla plastinen muodonmuutos perustuu pääasiassa dislokaatioiden liikkeeseen, lujuuden kasvu johtuu toisaalta dislokaatioiden kasvavan liikenopeuden vaatimasta suuremmasta ulkoisesta jännityksestä ja toisaalta dislokaatioiden liikettä vaikeuttavan esterakenteen kehittymisen myötönopeusriippuvuudesta. Edellinen mekanismi on dynaamiseen kuormitustilanteeseen liittyvä transientti ilmiö, kun taas jälkimmäinen mekanismi lujittaa materiaalia myös pysyvästi. Näin ollen liukutasoille muokkauslujittumisen seurauksena syntyvä esterakenne ei ole funktio vain plastisen myötymän määrästä vaan myös siitä nopeudesta, jolla se on syntynyt [1-7].

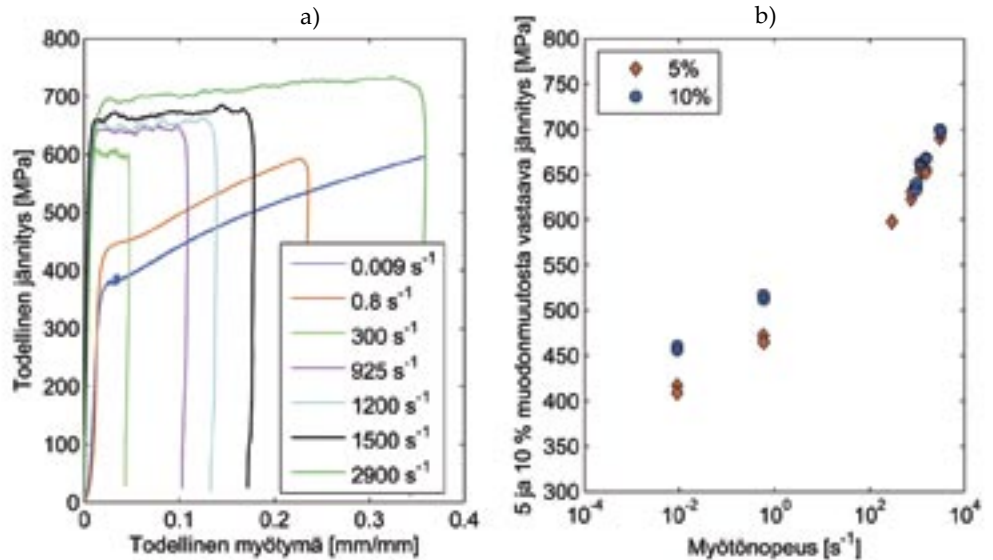
## Metallien myötönopeusriippuvuuden taustaa

Myötönopeuden vaikutusta metallien lujuuteen ja muodonmuutokäyttäytymiseen voidaan havainnollistaa joko piirtämällä eri nopeuksilla määritetyt jännitys-myötymä-käyrät samaan kuvaan tai esittämällä tiettyä plastista myötymää vastaava jännityksen arvo myötönopeuden logaritmin funktiona. **Kuvassa 1a** on esitetty Ruukin Form 220 C:lle eri muodonmuutosnopeuksilla tehdyistä puristuskokeista määritetyt jännitys-myötymä-käyrät ja **kuvassa 1b** näistä käyristä määritetyt 5 ja 10 % myötymää vastaavat jännityksen arvot myötönopeuden funktiona. Molemmista kuvista käy selkeästi ilmi, että myötönopeuden noustessa arvosta  $10^2 \text{ s}^{-1}$  arvoon  $3 \cdot 10^3 \text{ s}^{-1}$  materiaalin lujuus kasvaa lähes 70 %. Kuvassa 1a suurilla muodonmuutosnopeuksilla nähtävä muodonmuutoksen määrän kasvu myötönopeuden funktiona on puhtaasti koejärjestelyyn liittyvä ilmiö eikä liity varsinaisesti materiaalin käyttäytymiseen.



**Kuva 1.** Form 220 C putkimateriaalin käyttäytyminen eri muodonmuutosnopeuksilla. a) kvasistaattisista puristuskokeista ja suuren myötönopeuden Hopkinson-kokeista saadut jännitys-myötymä-käyrät, b) 5 ja 10% plastisen myötymän aikaansaamiseksi tarvittava jännitys myötönopeuden funktiona.

**Figure 1.** Deformation behavior of Form 220 C steel tube at different strain rates. a) stress-strain curves from quasi-static compression tests and high strain rate Hopkinson tests, b) flow stresses at 5 and 10% plastic strains as a function of strain rate.



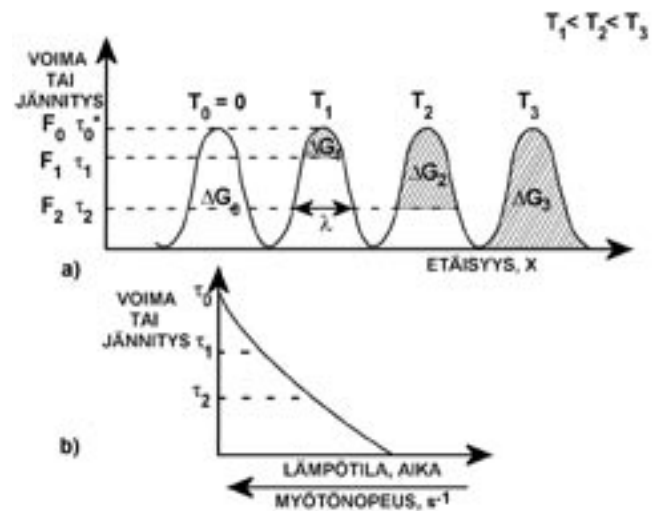
Pienillä ja keskiuurilla myötönopeuksilla ( $\dot{\epsilon} < 10^2 \text{ s}^{-1}$ ) metallien lujuuden myötönopeusriippuvuus voidaan selittää ns. termisesti aktivoidun dislokaatioliikkeen avulla, jossa dislokaatioita liikuttava energia (voima) on peräisin paitsi ulkoisesta jännityksestä myös lämpötilan mukana lisääntyvästä atomien lämpöliikkeestä, kuten kuvassa 2a on esitetty. Lämpövarähtelyn amplitudi on tilastollinen suure, jolloin kullakin hetkellä saatavilla olevan termisen energian määrä myös vaihtelee [8, 9].

Dislokaation liikettä liukutasolla vastustavat esteet voidaan jakaa kahteen ryhmään: termisiin ja atermisiin esteisiin [8, 9]. Termiset esteet ovat ylittävissä pelkän lämpöliikkeen avulla, mutta jos lämpötila ei ole riittävän korkea tai myötönopeus on niin suuri, ettei dislokaatio voi odottaa tarvitsemansa suuruista lämpövarähdystä, tarvitaan myös termisten esteiden ylittämiseen ulkoisen jännityksen tuomaa lisäenergiaa, kuten kuva 2b esittää. Materiaalin muodonmuutoksen jatkamiseen tarvittava ulkoinen (mitattava) jännitys voidaan tällöin kirjoittaa muodossa  $\sigma = \sigma_0 + \sigma_C$ , josta osuus  $\sigma_0$  menee termisten ja osuus  $\sigma_C$  atermisten esteiden voittamiseen. Kuten kuvasta 2c nähdään, termisten esteiden voittamiseen tarvittava jännityskomponentti lähestyy nolaa lämpötilassa, jonka suuruus riippuu käytetystä muodonmuutosnopeudesta. Atermiset esteet ovat puolestaan ns. laaja-alaisia esteitä, joiden ylittämiseen termien energia ei voi olla avuksi, olipa lämpötila kuinka korkea tahansa.

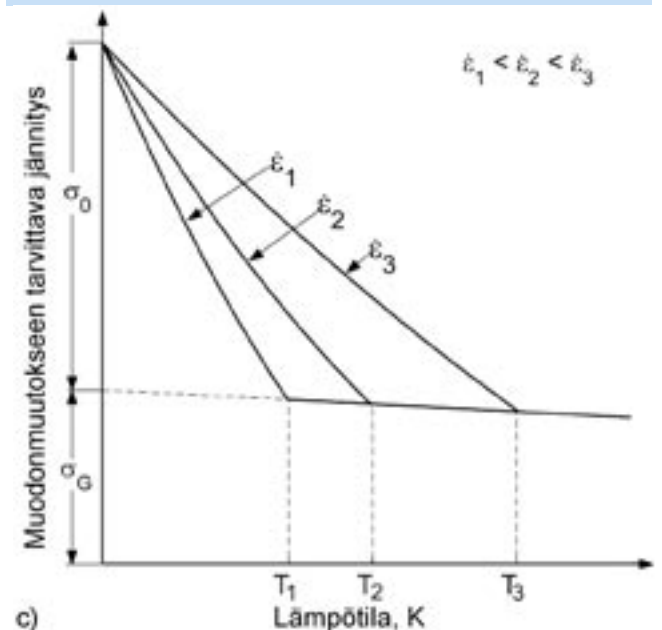
Useimmilla metalleilla tiettyä myötymää vastaava jännitys kasvaa tasaisesti noin myötönopeuteen  $10^3 \text{ s}^{-1}$  saakka. Tätä suuremmilla myötönopeuksilla muodonmuutoksen tarvitsema jännitys alkaa yleensä kasvaa voimakkaasti, kuten esimerkiksi kuvasta 1b käy ilmi. Tämä muutos materiaalin käyttäytymisessä selitetään tavallisesti dislokaatioihin kohdistuvan ns. viskoosin jarrutuksen avulla. Käsite 'viskoosi jarrutus' sisältää itse asiassa useita erilaisia mekanismeja, joille kaikille on kuitenkin yhteistä se, että ne kuluttavat energiaa ja näin ollen pyrkivät hidastamaan dislokaation liikenopeutta [10-13]. Jotta haluttu muodonmuutosnopeus ja siihen liittyvä dislokaatioiden keskimääräinen liikenopeus voitaisiin säilyttää, on dislokaatioihin vaikuttavaa leikkausjännitystä lisättävä, mikä näkyy ulospäin materiaalin lujuuden voimakkaana kasvamisena.

### Myötönopeuden vaikutusten tutkimusmenetelmät

Myötönopeudet voidaan jakaa erilaisiin alueisiin esimerkiksi kuvan 3 mukaisesti [14]. Kvasistaattisella alueella, joka on



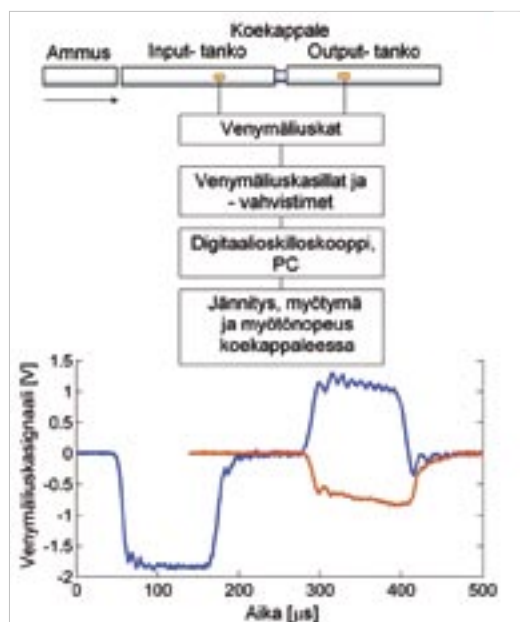
**Kuva 2.** a-b) dislokaation esteen ylittämiseen tarvitsema ulkoinen voima tai leikkausjännitys eri lämpötiloissa, c) plastisen muodonmuutoksen aikaansaamiseksi tarvittava ulkoinen jännitys [lähde 8 mukaan]. **Figure 2.** a-b) stress required for the dislocation to overcome a short-range barrier at different temperatures, c) flow stress at different temperatures and strain rates [after 8].



esim. 'normaalien' vetokokeiden muodonmuutosnopeus-alue, kuormitetussa metallikappaleessa vallitsee käytännössä joka hetki jännitystasapaino ja sekä elastisen että plastisen muodonmuutoksen voidaan ajatella tapahtuvan ilman viivettä (aikariippuvuutta) samanaikaisesti kappaleen kaikissa kuormituksen alaisissa osissa. Tarkasti ottaen tämä ei kuitenkaan pidä paikkaansa, vaan jännitys ja sen aikaansaama myötymä etenevät materiaalissa sille tyypillisellä nopeudella, joka esimerkiksi teräksillä on täysin elastisessa tapauksessa noin 5000 m/s. Tällöin esimerkiksi yhden metrin pituinen terästanko, jonka toiseen päähän kuormitus tietyllä hetkellä kohdistuu, tuntee kuormituksen tangon toisessa päässä vasta n. 200  $\mu$ s kuluttua. Normaalisti tällä viiveellä ei ole suurta käytännön merkitystä, mutta suurilla muodonmuutosnopeuksilla ja lyhyillä pulssimaisilla kuormituksilla se vaikeuttaa tai kokonaan estää jännitystasapainon syntymisen kappaleessa. Jotta jännitys- ja myötymätasapaino voitaisiin edes suurin piirtein saavuttaa, on kuormitettavan kappaleen oltava erittäin lyhyt kuormituspulssin pituuteen verrattuna. Kaksi muuta merkittävää eroa pienillä ja suurilla muodonmuutosnopeuksilla tapahtuvien kuormitustilanteiden välillä ovat aksiaalisten ja radiaalisten inertiaivoimien mukaantulo suurilla nopeuksilla sekä se, että pienillä nopeuksilla kuormitustilanne on yleensä täysin isoterminen kun taas muodonmuutosnopeuden kasvaessa tilanne muuttuu lähes adiabaattiseksi. Koska plastiseen muodonmuutokseen käytetystä energiasta vain 5-10 % varastoituu pysyvästi materiaalin virherakenteeseen, adiabaattisessa tilanteessa materiaalin lämpötila voi muodonmuutosasteesta riippuen kohota jopa useita satoja asteita, millä voi olla huomattava vaikutus mitattuihin lujuusarvoihin.

Kvasistaattisella myötönopeusalueella materiaalien mekaanisten ominaisuuksien määrittäminen tapahtuu yleisimmin joko mekaanisilla tai servohydraulisilla aineenkoetuskoneilla. Suurimmat myötönopeudet, joita näillä laitteilla voidaan saavuttaa, ovat suuruusluokkaa 0.1-1 s<sup>-1</sup>. Erityisillä hydraulisilla suurnopeusvetokoneilla voidaan saavuttaa jopa 500 s<sup>-1</sup> muodonmuutosnopeuksia, mutta ongelmana näillä laitteilla ovat usein huomattavan suuret mekaaniset värähtelyt, jotka näkyvät suoraan mitatuissa voima- ja myötymäsignaaleissa vaikeuttaen tulosten tulkintaa merkittävästi [15].

Suuren muodonmuutosnopeusalueen tutkimusmenetelmistä tunnetuin on ns. Hopkinson Split Bar -menetelmä (tunnetaan myös nimillä Split Hopkinson Pressure Bar ja



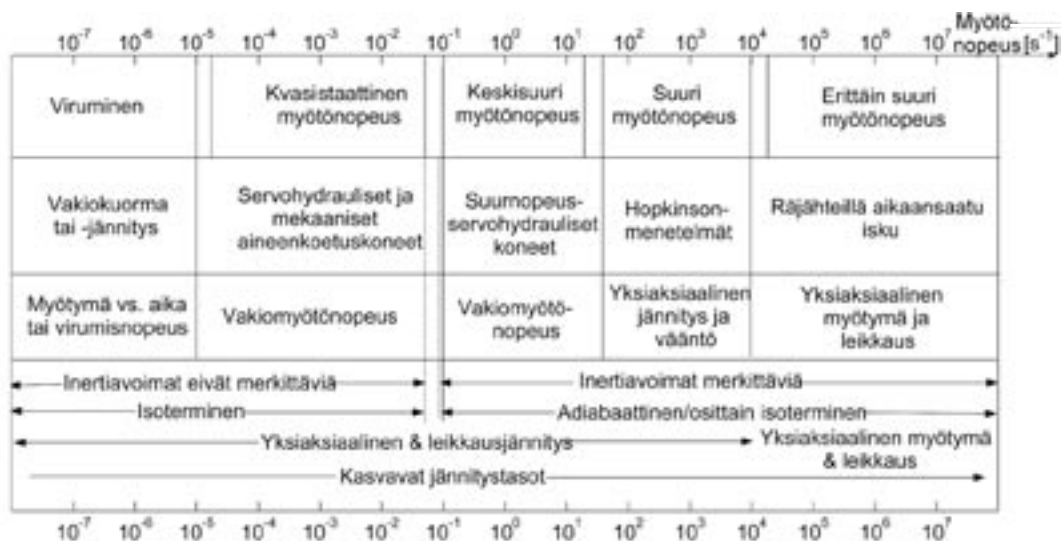
Kuva 4. Hopkinson Split Bar -laitteen periaatekuva.  
Figure 4. Hopkinson Split Bar equipment schematically.

Kolsky Bar), jota tarkastellaan seuraavassa yksityiskohtaisemmin.

### Hopkinson Split Bar (HSB) -tekniikka

Kuvassa 4 on esitetty Hopkinson Split Bar -laitteen periaatekuva. Laite koostuu kahdesta pitkästä suurilujuuksista teräs- tai alumiinitangosta (pituus tyypillisesti 1-2 m, halkaisija 10-25 mm), joiden väliin testattava näyte asetetaan. Tankojen kanssa yleensä samasta materiaalista valmistettu ja saman halkaisijan omaava ammus kiihdytetään nopeuteen 1-50 m/s paineilman avulla. Iskiessään ensimmäisen tangon (input-tanko) päähän ammus synnyttää siihen elastisen, jännityksen äärellisen nousunopeuden vuoksi hieman trapezoidaalisen puristusjännitysaallon, joka etenee tangossa äänen nopeudella (n. 5000 m/s teräksillä), kunnes se saavuttaa ko. tangon ja näytteen välisen rajapinnan. Rajapinnasta osa jännitysaallosta heijastuu takaisin vetojännitysaaltona jäljelle jääneen osuuden edetessä näytteen läpi puristusjännityksen.

Kuva 3. Myötönopeusalueet ja yleisimmät testausmenetelmät eri alueilla [lähde 14 mukaan].  
Figure 3. Strain rate regimes and the associated testing techniques [after 14].



nitysaaltona toiseen tankoon (output-tanko). Syntyneet jännityspulssit rekisteröidään tangoista venymäliuskoilla, jotka on sijoitettu riittävän kauaksi tankojen päistä, jotta tulevan ja heijastuvan aallon päällekkäin meno input-tangossa vältetään. Pulssien nousuaikaa ja muotoa voidaan kontrolloida käyttämällä ammuksen ja input-tangon välissä ns. pulse shaperia, joka on tankoja pehmeämmästä ja kokeessa siksi plastisesti muokkautuvasta materiaalista kuten kuparista valmistettu ohut kiekko [16, 17].

Erittäin lyhyen nousuajan vuoksi sylinterimäisellä ammuksella aikaansaatu trapetoidaalinen kuormituspulssi sisältää yleensä useita eri taajuuskomponentteja, jotka aiheuttavat pulssiin kuvassa 4 nähtäviä oskillaatioita. Koska korkeampitaajuiset komponentit etenevät kuormitustangoissa hitaammin kuin matalataajuiset komponentit, oskillaatioiden suhteellinen paikka ja amplitudi muuttuvat ja pulssin nousuaika kasvaa aallon edetessä tangossa. Venymäliuskoilla mitattujen kolmen pulssin oskillaatiot eivät kuitenkaan ole keskenään samassa vaiheessa, koska tuleva aalto mitataan ennen kuin puristusaalto saavuttaa koekappaleen mutta heijastunut ja läpimennyt aalto vasta sen jälkeen. Mitatut pulssit eivät siis täysin vastaa todellisia pulsseja näytteen ja tankojen rajapinnoilla. Mittauksen aikaeron aiheuttamat vaihe-erot voidaan kuitenkin korjata ns. dispersiokorjauksen avulla, jossa kaikki aallot siirretään matemaattisesti korjattuina tanko/näyte -rajapinnoille [18-20]. Korjaus tehdään suorittamalla kaikille kolmelle pulssille nopea Fourier-muunnos (fft), siirtämällä eri taajuuskomponenttien vaihetta ns. Pochhammer-Chree -ratkaisun mukaisesti joko eteenpäin (tuleva aalto) tai taaksepäin (heijastunut ja läpimennyt aalto), ja palaamalla takaisin aikatasoon käänteisellä Fourier-muunnoksella. Esimerkki dispersiokorjauksen vaikutuk-

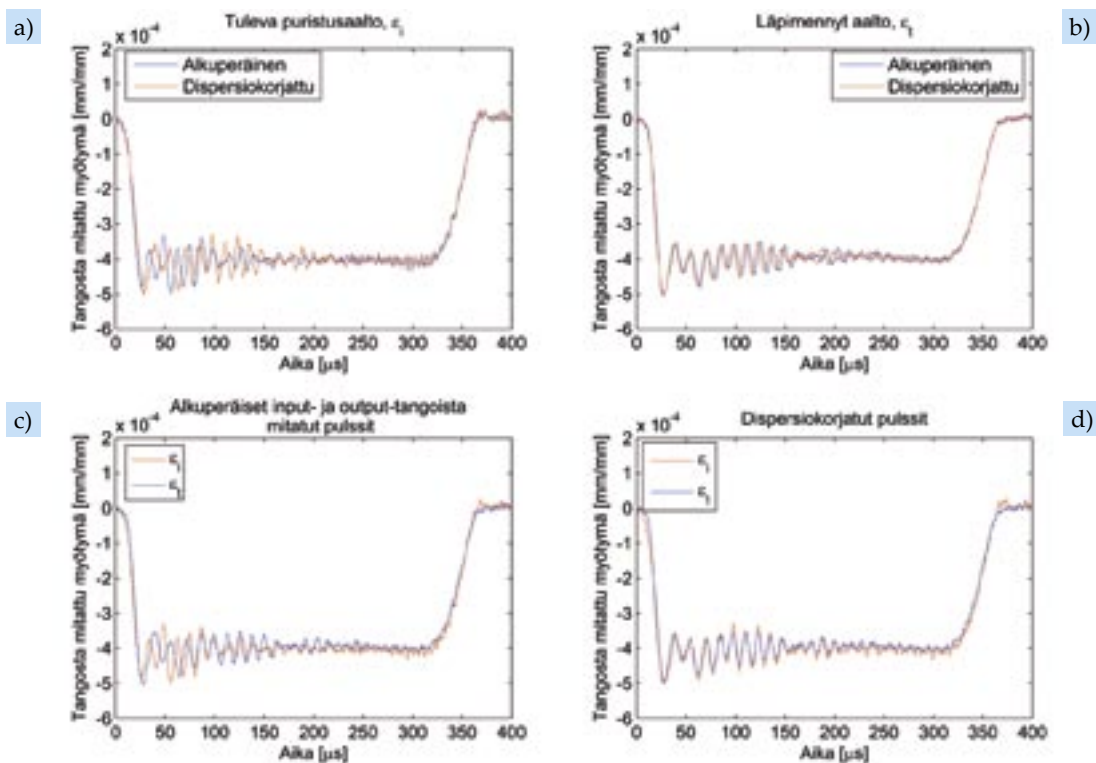
sesta on esitetty kuvassa 5, jossa koe on suoritettu ilman näytettä (ts. input- ja output-tangot yhdessä). Input-tangon venymäliuska on ollut 1.4 metrin ja output-tangon venymäliuska 0.35 metrin etäisyydellä tankojen rajapinnasta. Kuva 5c esittää tankojen rajapinnalle siirretyt pulssit ilman dispersiokorjausta ja kuva 5d dispersiokorjauksen jälkeen. Oskillaatioiden vaihe-erojen poistaminen dispersiokorjauksella parantaa merkittävästi lopullisen jännitys-myötymä-käyrän laatua. Oskillaatioita ja dispersiokorjauksen tarvetta voidaan myös pienentää kasvattamalla tulevan pulssin nousuaikaa edellä mainitun pulse shaper -tekniikan avulla. Kuvassa 6 on tästä esimerkki.

Dispersiokorjatuista signaaleista myötymä, myötönopeus sekä jännitys näytteessä lasketaan yhtälöiden 1-3 mukaisesti. Mikäli näytteessä vallitsee jännitystasapaino eli näytteen etu- ja takapinnoilla lasketut jännitykset ovat riittävällä tarkkuudella yhtä suuret, voidaan käyttää myös yksinkertaistettuja yhtälöitä, joissa myötymä ja myötönopeus lasketaan pelkästään heijastuneesta aallosta ja jännitys pelkästään läpimenneestä aallosta.

$$\varepsilon(t) = \frac{C_0}{L_s} \int_0^t [(\varepsilon_i(t) - \varepsilon_r(t) + \varepsilon_t(t))] dt \quad (1)$$

$$\dot{\varepsilon}(t) = \frac{C_0}{L_s} [\varepsilon_i(t) - \varepsilon_r(t) + \varepsilon_t(t)] \quad (2)$$

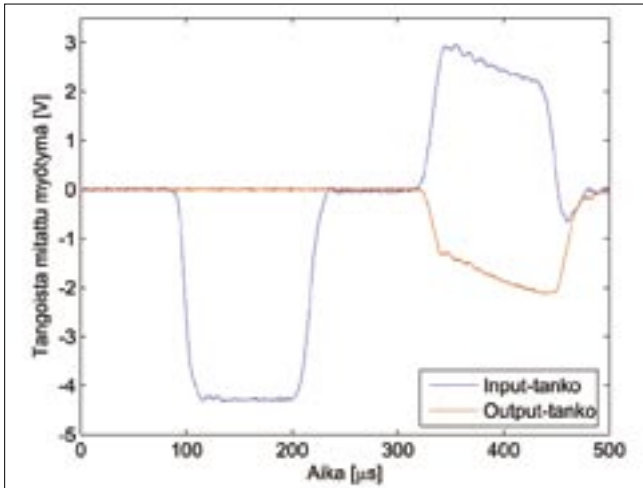
$$\sigma(t) = \frac{A_s E [\varepsilon_i(t) + \varepsilon_r(t) + \varepsilon_t(t)]}{2A_s} \quad (3)$$



**Kuva 5.** Dispersiokorjauksen vaikutus HSB-pulsseihin. a) alkuperäinen ja dispersiokorjattu input-tangosta mitattu tuleva puristusjännitysaalto, b) alkuperäinen ja dispersiokorjattu output-tankoon läpimennyt puristusjännitysaalto, c) alkuperäiset tuleva ja läpimennyt aalto siirrettynä tankojen rajapintaan ja d) dispersiokorjatut pulssit siirrettynä tankojen rajapintaan. Koe on tehty ilman näytettä, ts. input- ja output-tangot ovat olleet suorassa kontaktissa eikä ns. pulse shaperia ole käytetty.

**Figure 5.** The effect of dispersion correction on the HSB signals. a) original and dispersion corrected incident stress pulses measured from the input bar, b) original and dispersion corrected transmitted stress pulses measured from the output bar, c) original incident and transmitted stress pulses transferred to the interface between the input and output bars, and d) dispersion corrected pulses transferred to the interface between the input and output bars. The test was made without a specimen, i.e., the input and output bars were in direct contact with each other and no pulse shaper was used.





**Kuva 6.** Tuleva, takaisinheijastunut ja näytteen läpimennyt pulssi TRIP 800 teräkselle suoritetusta kokeesta, jossa pulse shaperina on käytetty ohutta kuparikielkkoa.

**Figure 6.** The incident, reflected and transmitted stress pulses from a test made for a TRIP 800 steel. A thin copper disc was used as a pulse shaper.

Hopkinson Split Bar -laitteistoa voidaan modifioida siten, että sen avulla voidaan tutkia materiaalien käyttäytymistä myös nopeassa vetomuodonmuutoksessa [21, 22]. Veto-kuormitus voidaan saada aikaan joko näytegeometrian tai koelaitteiston muutosten avulla. Yleisimmin käytetyssä menetelmässä ammuksena toimii lyhyt (200 -1000 mm) kuormitustangon päällä kulkeva holkki, joka ammutaan näytteestä pois päin tangon päässä olevaa laippaa vasten. Suurin ero (ja ongelma) puristuslaitteeseen verrattuna on näytteen kiinnitys. Kun puristusmenetelmässä näyte yksinkertaisesti asetetaan puristustankojen väliin ilman erillistä kiinnitysmekanismia (yleensä pieni määrä voiteluainetta riittää pitämään näytteen paikallaan), vetomenetelmässä näyte täytyy kiinnittää tankojen päähän mekaanisesti. Tästä aiheutuu erilaisia häiriöitä elastisen aallon etenemiselle, jolloin saadut tulokset eivät yleensä ole laadultaan yhtä hyviä kuin puristusmenetelmässä. Yleisin tapa kiinnittää näyte on kierrelliitos. Ohutlevyjen tapauksessa tämä menetelmä ei tietenkään ole sellaisenaan käyttökelpoinen, vaan levymäisen näytteen päihin joko liimataan kiertetyt sovituskappaleet tai näyte kiinnitetään suoraan tankoihin käyttäen erilaisia mekaanisia puristus- tai liimaliitoksia. Vetokoetulosten laskenta mitatuista pulsseista tapahtuu periaatteessa samalla tavalla kuin puristuskokeessakin.

Hopkinson Split Bar -kokeissa koekappaleen muodonmuutosnopeuteen ja muodonmuutoksen määrään vaikuttavat koeparametrit ovat ammuksen nopeus, ammuksen pituus sekä näytteen pituus. Jännitys ja sitä kautta elastinen muodonmuutos kuormitustangoissa riippuvat ammuksen nopeudesta ja kuormitusaika ammuksen pituudesta yhtälöiden 4 ja 5 mukaisesti. Tyypillisesti tällä menetelmällä saavutettavat kuormituspulssien kestoajat vaihtelevat 80 ja 400 µs:n ja kuormituksen suuruudet 5 ja 200 kN:n välillä. Sekä muodonmuutoksen määrään että muodonmuutoksen nopeuteen voidaan vaikuttaa myös muuttamalla näytteen pituutta, mutta yleensä näytteen pituus/halkaisija -suhde pyritään pitämään alueella 0.2-1.0 jännitystasapainon takaamiseksi sekä kitka- ja inertiaefektien minimoimiseksi. Muodonmuutosnopeuden ja muodonmuutoksen kokonaismäärän vapaata valintaa rajoittaa se, että ne molemmat riippuvat samoista koeparametreista, jolloin esimerkiksi suuren

muodonmuutoksen aikaansaaminen hitaalla muodonmuutosnopeudella on vaikeaa, kuten myös kuva 1a osoittaa.

$$\sigma = \frac{v_a \rho_a C_{0a}}{2} \quad (4)$$

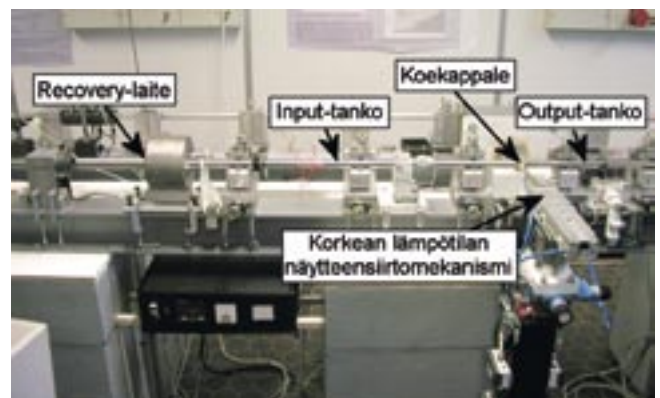
$$T = \frac{2L_a}{C_{0a}} \quad (5)$$

## Suuren myötönopeusalueen tutkimus TTY:ssä

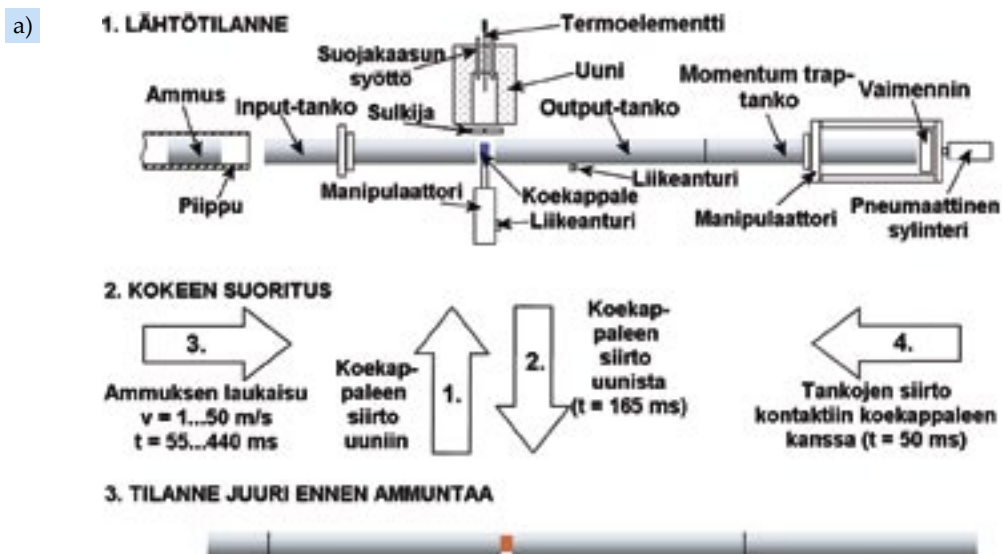
Tampereen teknillisen yliopiston Materiaaliopin laitoksella on vuosien 2000-2003 aikana rakennettu kaksi Hopkinson Split Bar -laitetta, joilla voidaan tutkia materiaalien käyttäytymistä puristusmuodonmuutoksessa nopeusalueella  $2 \cdot 10^2 - 10^4 \text{ s}^{-1}$  [16, 20, 23-28]. Lisäksi rakenteilla on erityisesti ohutlevyjen testaukseen tarkoitettu veto-HSB, joka tulee olemaan toimintakunnossa kevään 2005 aikana. Erityisinä lisäpiirteinä TTY:n HSB -laitteissa ovat mahdollisuus tehdä kokeita hyvin laajalla lämpötila-alueella (n. -190 °C ... 1000 °C) sekä ns. specimen recovery -laite, jonka avulla näytteen uudelleenmuokkautuminen kokeen aikana voidaan estää (normaalisti input-tangossa edestakaisin kulkevat kuormituspulssit voivat muokata näytettä useamman kuin yhden kerran). Recovery-tekniikan käyttäminen on tarpeellista erityisesti silloin, kun muokatun näytteen mikrorakennetta halutaan tutkia esimerkiksi läpivalaisuelektronimikroskopiin avulla [28, 29].



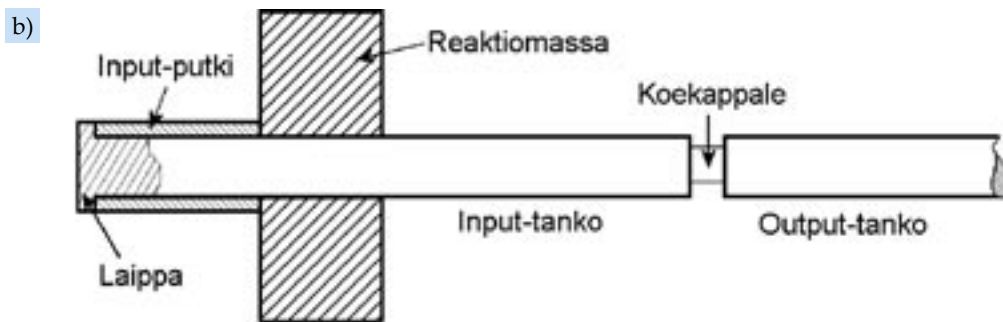
**Kuva 7.** Hopkinson-puristuskoelaitteet TTY:n Materiaaliopin laitoksella.  
**Figure 7.** The compressive Hopkinson Split Bar devices at the Institute of Materials Science in TUT.



**Kuva 8.** Korkean lämpötilan laitteisto sekä specimen recovery -laite TTY:n HSB-laboratoriossa.  
**Figure 8.** High temperature equipment and specimen recovery device in the HSB laboratory in TUT.



Kuva 9. a) Korkean lämpötilan HSB-laitteiston ja b) specimen recovery-laitteen toimintaperiaate. Figure 9. a) High temperature HSB equipment and b) specimen recovery device schematically.



Kuvassa 7 on yleisnäkymä TTY:n kahdesta Hopkinson-laitteesta, joita molempia ohjataan kuvassa etualalla nähtävällä tietokoneella. Venymäliuskavahvistimilta ja muilta antureilta tulevat signaalit tallennetaan kahden digitaali-oskilloskoopin muisteihin, joista ne luetaan tietokoneelle GPIB-väylän kautta. Mittaustulosten käsittelyssä käytetään MATLAB-pohjaista laskentakoodia, joka suorittaa mitatuille pulseille myös edellä mainitun dispersiokorjauksen.

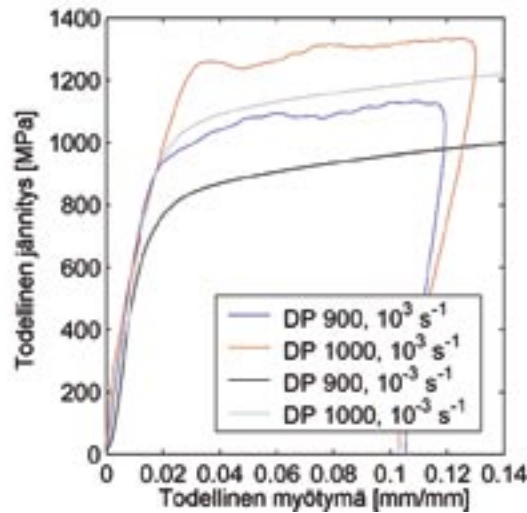
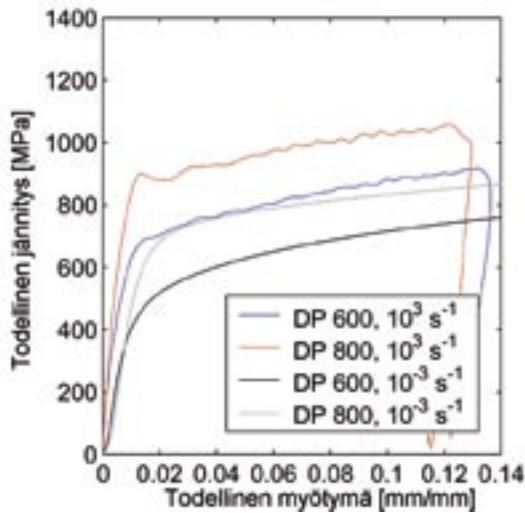
Kuvassa 8 nähdään tarkemmin korkean lämpötilan laitteisto sekä specimen recovery -laite. Kummankin lisälaitteen periaatepiirroksat on esitetty kuvassa 9. Korkean lämpötilan laitteiston toimintaperiaate on seuraava: näyte asetetaan erityiseen näytteenpitimeen, joka työnnetään pneumaattisen toimilaitteen avulla tankojen vieressä olevaan uuniin. Kun näyte on saavuttanut halutun lämpötilan, tietokone vetää näytteen tankojen keskilinjalle, siirtää kuormitustangot kiinni näytteeseen erityisen pneumaattisen siirtomekanismin avulla ja laukaisee ammuksen. Em. toimintojen tietokoneohjatulla ajoituksella kuuman näytteen ja kylmien tankojen kosketusaika ennen muokkausta voidaan rajoittaa alle 50 millisekuntiin, jolloin näyte ei ehdi olennaisesti jäähtyä [26, 28]. Huoneenlämpötilan alapuolella tehtävissä kokeissa uuni korvataan jäähdytyslaitteistolla, jonka toiminta perustuu nestetyyppellä jäähdytetyn lämmönvaihtimen kautta puhallettavan typpikaasun käyttöön.

Specimen recovery -laitteen rakenne ja toiminta käyvät ilmi kuvasta 9b. Siinä ammuksen synnyttämä puristusjännityspulssi jaetaan aluksi mekaanisesti kahteen yhtä suureen osaan, joista toinen kulkee varsinaisessa kuormitustangossa

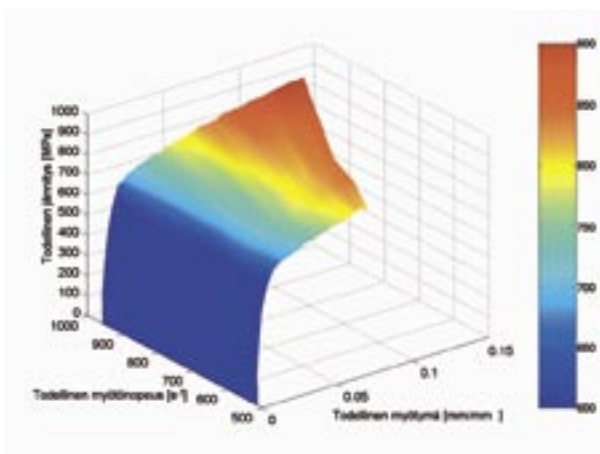
ja toinen kuormitustangon päällä olevassa putkessa. Putken toista päätä vastassa on ns. reaktiomassa, josta puristusjännityspulssi heijastuu puristusjännityksenä takaisin kohti kuormitustangon alkupäätä, josta ammus on juuri irtoamassa. Kun puristusjännityspulssi saavuttaa kuormitustangon vapaan etupään, se heijastuu siitä takaisin vetojännityspulsina ja jatkaa nyt matkaansa kuormitustangossa. Jos ammus ja kuormitustangon päällä oleva putki ovat yhtä pitkät ja mekaanisilta impedansseiltaan yhtä suuret, alkuperäistä puristuspulssia seuraa kuormitustangossa välittömästi samansuuruinen vetopulssi, jonka seurauksena kuormitustangon liikesuunta heti ensimmäisen puristusjännityspulssin jälkeen kääntyy päinvastaiseksi, eli kuormitustanko liikkuu pois näytteestä. Käytännössä tämä merkitsee siis sitä, että näytettä kuormittaa ainoastaan ensimmäinen puristusjännityspulssi. Sekä korkean/matalan lämpötilan laitteistoa että specimen recovery -laitetta voidaan käyttää myös yhtä aikaa, jolloin rakennetutkimuksia voidaan tehdä eri lämpötiloissa testatuille koekappaleille [28].

### Esimerkkejä TTY:ssä teräksille tehdyistä suuren muodonmuutosnopeuden tutkimuksista

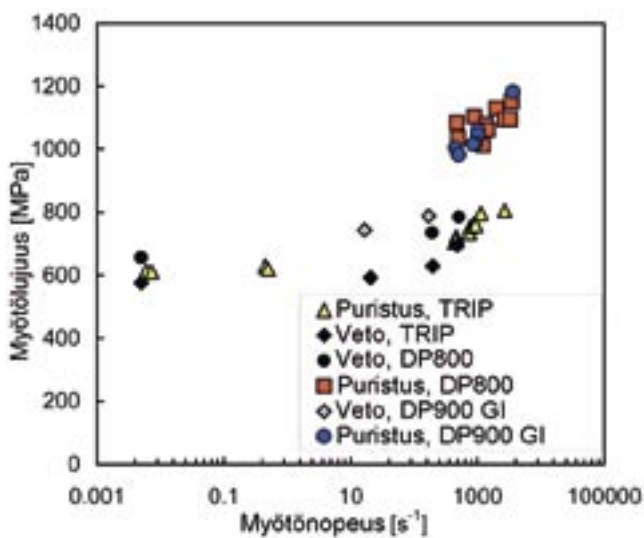
Autoteollisuus käyttää erilaisissa runko-, kori- ja istuinrakenneissa useita erityyppisiä ohutlevyteräksiä, joille asetettuja yhteisiä vaatimuksia ovat riittävä lujuus ja hyvä muovattavuus. Kaikkiin näihin rakenteisiin voi kolaritilanteissa kohdistua huomattavan suuria muodonmuutosnopeuksia, jolloin tärkeiksi tekijöiksi nousevat myös materiaalien ja



**Kuva 10.** Kaksifaasiterästen DP600, DP800, DP900 ja DP1000 käyttäytyminen myötönopeuksilla  $10^{-3} \text{ s}^{-1}$  ja  $10^3 \text{ s}^{-1}$  [25].  
**Figure 10.** The behavior of dual phase steels DP600, DP800, DP900 and DP1000 at strain rates  $10^{-3} \text{ s}^{-1}$  and  $10^3 \text{ s}^{-1}$  [25].



**Kuva 11.** DP600 kaksifaasiteräksen käyttäytyminen myötönopeuksilla 500-1000  $\text{s}^{-1}$ .  
**Figure 11.** The behavior of dual phase steel DP600 at strain rates 500-1000  $\text{s}^{-1}$ .



**Kuva 12.** Kaksifaasiterästen DP800 ja DP900 GI sekä TRIP 800 teräksen käyttäytyminen suurilla myötönopeuksilla puristuksessa ja vedossa [30].  
**Figure 12.** The behavior of dual phase steels DP800 and DP900 GI and a TRIP 800 steel at high strain rates in compression and in tension [30].

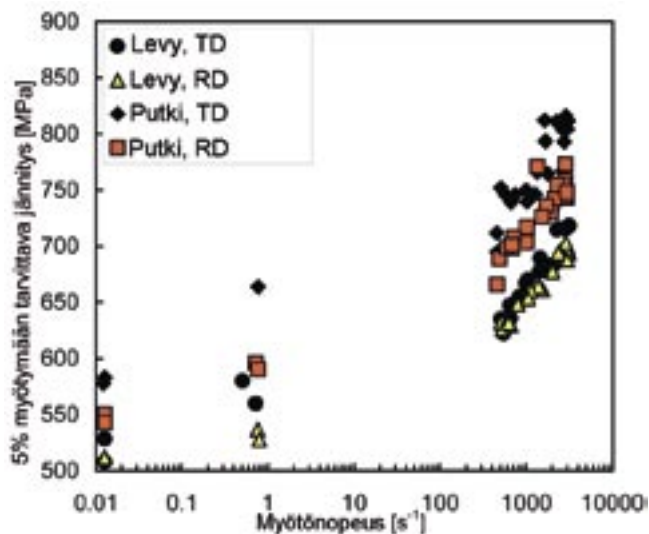
rakenteiden dynaaminen lujuus ja energian absorptiokyky. Tyypillisesti autoteollisuus vaatii tänä päivänä käyttämiltään teräslaaduilla kvasistaattisten lujuusominaisuuksien lisäksi tietoa niiden käyttäytymisestä myös myötönopeusalueella  $250\text{-}1000 \text{ s}^{-1}$ . Joissakin kriittisissä kohteissa muodonmuutosnopeus voi kolaritilanteessa simulaatioiden ja törmäysoestien mukaan nousta jopa yli  $2000 \text{ s}^{-1}$ . Seuraavassa on esitetty muutamia esimerkkejä TTY:ssä eri muodonmuutosnopeuksilla tehtyjen kokeiden tuloksista DP600-1000, TRIP 800 ja S355 teräksillä.

**Kuvassa 10** on esitetty DP -teräksille kvasistaattisista puristuskokeista ja Hopkinson -kokeista saadut todelliset jännitys-myötymä -käyrät myötönopeuksilla  $10^{-3}$  ja  $10^3 \text{ s}^{-1}$ . Tuloksista havaitaan, että ko. terästen lujuus kasvaa noin 20 % myötönopeuden kasvaessa. DP600 kaksifaasiteräksen käyttäytymistä suurilla muodonmuutosnopeuksilla on esitetty myös **kuvassa 11**.

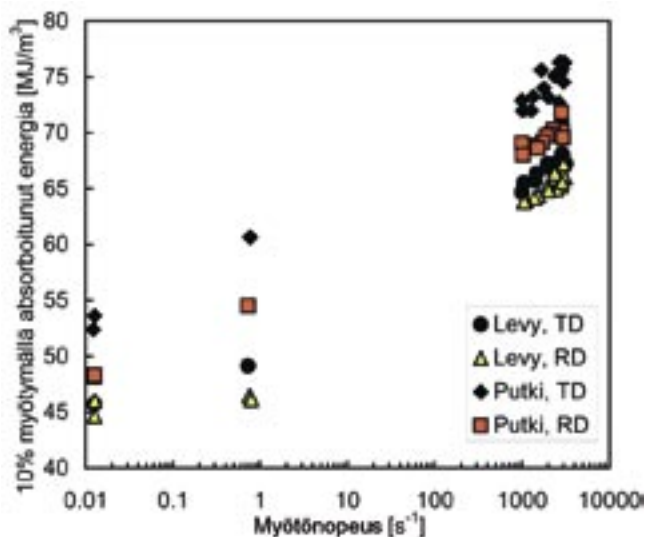
Osalle tutkituista teräksistä on saatavilla myös hydraulisella suurnopeusvetokoneella tehtyjen kokeiden tuloksia. **Kuvassa 12** on esitetty sekä näistä vetokoe tuloksista, kvasistaattisista puristuskokeista että Hopkinson-kokeista määritettyjä myötölujuuden arvoja. Esimerkiksi TRIP 800 teräksen myötölujuus on puristuksessa vain hieman vedossa mitattua suurempi eikä sen myötönopeusriippuvuus muutu merkittävästi vielä tutkitulla alueella. On tosin syytä huomata, että aivan kokeen alussa jännitystasapainoa ei yleensä ole vielä täysin saavutettu, ja sen vuoksi pienillä myötymillä HSB-tulokset eivät ole täysin luotettavia. Tästä syystä esimerkiksi Youngin modulia ei HSB-kokeiden tuloksista voida määrittää ja myötölujuudenkin määrittäminen tapahtuu yleensä ns. takaisineksstrapolointimenetelmällä. Kaksifaasiteräksille suurilla muodonmuutosnopeuksilla ( $> 500 \text{ s}^{-1}$ ) puristuksessa määritetyt myötölujuudet ovat kuvan 12 mukaan huomattavasti suurempia kuin vedossa mitatut arvot [30]. Osittain myötölujuuksien suuremmat arvot puristuksessa voivat johtua puristuskokeissa vaikuttavasta kitasta, mutta myös kuormitus-suunta voi tässä tapauksessa vaikuttaa tuloksiin merkittävästi, sillä vetokokeet on tehty valssaussuuntaan ja puristuskokeet levyn paksuussuuntaan [31].

S355 rakenneteräksen käyttäytymistä eri muodonmuutosnopeuksilla on tutkittu sekä valssatuista levyistä että niistä kylmämuokkaamalla valmistetuista putkista tehdyillä näytteillä. Tekstuurin vaikutuksen esille saamiseksi kokeet on tehty sekä valssaussuuntaan (RD) että sitä vastaan kohtisuoraan suuntaan (TD). **Kuvassa 13a** on esitetty ko. teräksille myötönopeuden funktiona 5% plastista muodonmuutosta





a)



b)

**Kuva 13.** Rakenneteräksen S355 käyttäytyminen myötönopeuden funktiona. a) 5% plastista myötymää vastaavat jännitykset, b) 10 % muodonmuutoksella absorboitunut energia levyille ja putkelle valssauksen (RD) ja sitä vastaan kohtisuoraan (TD) suuntaan mitattuna [30].

**Figure 13.** The behavior of S355 structural steel as a function of strain rate. a) flow stress at 5 % plastic strain, and b) absorbed energy at 10 % plastic strain for tube and strip in the transverse and longitudinal directions [30].

vastaava jännitys ja kuvassa **13b** 10% muodonmuutoksella absorboitunut energia. Absorboitunut energia voidaan puristuskokeissa määrittää vain tiettyyn myötymään saakka, sillä esimerkiksi kokonaisenergiaa ennen kuroutumista tai materiaalin lopullista murtumista ei puristuskokeista saada. Saatujen energia-absorptioarvojen perusteella voidaan kuitenkin vertailla eri materiaalien kykyä absorboida energiaa esim. törmäystilanteissa. Kuvan 13 mukaan sekä kuormitussuunta että putken valmistuksen yhteydessä tapahtuva kylmämuokkaus vaikuttavat merkittävästi materiaalin käyttäytymiseen koko tutkitulla muodonmuutosnopeusalueella.

### Yhteenvedo

Materiaalien mekaaninen käyttäytyminen suurilla muodonmuutosnopeuksilla poikkeaa huomattavasti niiden käyttäytymisestä hitaasti tapahtuvassa kuormituksessa. Tästä syystä erityisesti autoteollisuus tarvitsee luotettavaa dataa mm. ohutlevyteräksen käyttäytymisestä myös suurilla muodonmuutosnopeuksilla arvioidessaan ja mallintaessaan sekä materiaalien ja rakenteiden lujuutta että niiden energian absorptiokykyä törmäystilanteissa. Suurilla muodonmuutosnopeuksilla eniten käytetty ja luotettavin testausmenetelmä on ns. Hopkinson Split Bar -tekniikka, joka perustuu elastisten jännitysaaltojen etenemiseen suurilujuuksisissa teräs- tai alumiinitangoissa. HSB-tekniikan avulla voidaan materiaalien dynaamisia ominaisuuksia määrittää sekä puristuksessa että vedossa muodonmuutosnopeusalueella n.  $2 \cdot 10^2 - 10^4 \text{ s}^{-1}$ . Tampereen teknillisen yliopiston Materiaaliopin laitoksella on käytössä Suomen ainoat HSB-laitteistot, joita käytetään paitsi terästen myös monien muiden metallisten materiaalien, polymeerien sekä erilaisten komposiittien suuren muodonmuutosnopeuden ilmiöiden tutkimiseen. Parhailaan Materiaaliopin laitoksella on menossa useita Suomen Akatemian, Tekesin, Opetusministeriön ja TTY:n tutkijakoulujen sekä teollisuuden rahoittamia suuriin muodonmuutosnopeuksiin liittyviä tutkimusprojekteja. ▶

### LÄHTEET

- Follansbee P. S., Kocks U. F., A constitutive description of the deformation of copper based on the use of the mechanical threshold stress as an internal state variable. *Acta Metallurgica* 36 (1988) 81-93.
- Follansbee P. S., High-strain-rate deformation of FCC metals and alloys, in *Metallurgical Applications of shock-wave and high-strain-rate phenomena*, Editors Murr L. E., Staudhammer K.P., Meyers M. A., Marcel Dekker, New York, 1986.
- Lee W.-S., Lin C.-F., Impact properties and microstructure evolution of 304L stainless steel. *Materials Science and Engineering A* 308 (2001) 124-135.
- Lee W.-S., Lam H.-F., The deformation behaviour and microstructure evolution of high-strength alloy steel at high rate of strain. *Journal of Materials Processing Technology* 57 (1996) 233-240.
- Chiem C. Y., Duffy J., Strain rate history effects and observations of dislocation substructure in aluminum single crystals following dynamic deformation. *Materials Science and Engineering* 57 (1983) 233-247.
- Klepazcko J. R., Thermally activated flow and strain rate history effects for some polycrystalline FCC metals. *Materials Science and Engineering* 18 (1975) 121-135.
- Yasunaga K., Iseki M., Kiritani M., Dislocation structures introduced by high-speed deformation in BCC metals. *Materials Science and Engineering A* 350 (2003) 76-80.
- Meyers M. A., *Dynamic Behavior of Materials*, John Wiley & Sons, Inc., New York, 1994.
- Kettunen, P.O., Kuokkala, V.-T., *Plastic Deformation and Strain Hardening*, Materials Science Foundations Vol.16-18, Trans Tech Publications Ltd, Uetikon-Zuerich, 2003.
- Kumar A., Hauser F. E., Dorn J. E., Viscous drag on dislocations in aluminum at high strain rates, *Acta Metallurgica*, 16 (1968) 1189-1196.
- Mason W. P., Drag on dislocations due to thermal losses of the phonon-phonon interaction type. *Journal of Applied Physics* 35 (1964) 2779-2781.

12. Ferguson W. G., Kumar A., Dorn J. E., Dislocation damping in aluminum at high strain rates. *Journal of Applied Physics* 38 (1967) 1863-1869.
13. Kumar A., Kumble R. G., Viscous drag on dislocations at high strain rates in copper. *Journal of Applied Physics* 40 (1969) 3475-3480.
14. Nemat-Nasser S., Introduction to high strain rate testing, In *ASM Handbook Vol. 8: Mechanical Testing and Evaluation*. 2001, Materials Park, Ohio, p. 427-512.
15. Bleck W., Larour P., Measurement of the mechanical properties of car body sheet steels at high strain rates and non ambient temperatures. *Journal de Physique* 110 (2003) 489-494.
16. Vuoristo, T.: Effect of Strain Rate on the Deformation Behavior of Dual Phase Steels and Particle Reinforced Polymer Composites, väitöskirja. Tampereen teknillinen yliopisto, julkaisu 488, 2004.
17. Frew D. J., Forrestal M. J., Chen W., Pulse Shaping Techniques for Testing Brittle Materials with a Split Hopkinson Pressure Bar. *Experimental Mechanics* 42 (2002) 93-106.
18. Gorham D.A., A numerical method for the correction of dispersion in pressure bar signals, *Journal of Physics E: Scientific Instruments* 16 (1983) 477-479.
19. Gong J. C., Malvern L. E., Jenkins D. A., Dispersion investigation in the split Hopkinson pressure bar. *Journal of Engineering Materials and Technology* 112 (1990) 309-314
20. Vuoristo, T., Kuokkala, V.-T. and Keskinen, E.: Modeling of the deformation behavior of polymer composites at high strain rates and at elevated temperatures, *Key Engineering Materials* 221-222 (2002), p. 221-232.
21. Lindholm U. S., Yeakley L. M., High strain-rate testing: Tension and compression. *Experimental Mechanics* 8 (1968) 1-9.
22. Verleysen P., Degrieck J., Experimental investigation of the deformation of Hopkinson bar specimens. *International Journal of Impact Engineering* 30 (2004) 239-253.
23. Vuoristo, T., Kuokkala, V.-T. & Keskinen, E., Dynamic Compression Testing of Particle Reinforced Polymer Roll Cover Material. *Composites: Part A* 31 (2000), p. 815-822.
24. Vuoristo, T. and Kuokkala, V.-T.: Creep and recovery of soft roll cover materials, *Mechanics of Materials* 34 (2002), p.493-504.
25. Vuoristo, T., Apostol, M., Kuokkala, V.-T. and Peura, P.: Behavior of hot dip galvanized dual phase sheet steels at high rates of deformation, *Journal de Physique IV* 110 (2003) p. 213-218
26. Apostol, M., Vuoristo, T. and Kuokkala, V.-T.: High temperature high strain rate testing with a compressive SHPB, *Journal de Physique IV* 110 (2003) p. 459-464.
27. Vuoristo, T. and Kuokkala, V.-T.: Effect of strain rate, moisture and temperature on the deformation behavior of polymer roll covers. *Experimental Mechanics* 44 (2004) p. 313-319.
28. Apostol M., Kuokkala V.-T., and Vuoristo T.: High temperature high strain rate behavior of OFHC copper with a compressive high temperature recovery Split Hopkinson Pressure Bar. ICEM12- 12th International Conference on Experimental Mechanics, Politecnico di Bari, Italy, 29 August - 2 September, 2004.
29. Nemat-Nasser, S., Isaacs, J.B., Starret, J.E., Hopkinson techniques for dynamic recovery experiments. *Proceedings of the Royal Society of London A*. 435 (1991) 371-391.
30. Vuoristo T., Kuokkala V.-T., Apostol M., Peura P., Tulonen J. and Pirttijoki J.: Deformation and Work Hardening of Cold-Formed High Strength Steels at High Rates of Strain. *Materials Science & Technology 2004 MS&T'04* September 26-29, 2004, New Orleans, Louisiana.
31. Cady C. M., Chen S. R., Gray G. T., Korzekwa D. A., Dynamic materials testing, texture, and yield-surface calculation of an automotive sheet steel. *Metallurgical and Materials Transactions A* 31 (2000) 2439-2449. ▀

## SYNOPSIS

Mechanical behavior of materials at high strain rates differs considerably from that observed at quasi-static or intermediate strain rates. In most cases, the flow stress (resistance to deformation) is observed to increase with increasing rate of deformation. Practically all materials show strain rate dependent stress-strain behavior, but the magnitude and strain rate ranges where this effect is observed may vary considerably from material to material. In most materials, the flow stress for a constant strain at a constant temperature typically increases moderately with strain rate roughly up to  $10^3 \text{ s}^{-1}$ . At still higher strain rates a much stronger dependence is usually observed.

Today many engineering applications require knowledge of the mechanical behavior of materials under dynamic conditions. Strain rates ranging from  $10^2 \text{ s}^{-1}$  to more than  $10^4 \text{ s}^{-1}$  occur in many processes and events of practical importance, such as dynamic structural loadings, high-rate manufacturing processes, automotive collision protection systems, mining and earthmoving operations, and even paper manufacturing. In order to utilize the full capacity and performance of the materials in these applications, a thorough understanding of high strain rate deformation behavior and dynamic response of the materials is required. For example, the goal of total weight reduction and thus lower fuel consumption of cars can be promoted by taking account of the true high strain rate material properties (e.g., strength and energy absorption) in impact protection systems of cars. To simulate the behavior of these structures, whose important function is to protect the driver and the passengers in the case of a sudden impact, information on the behavior of the materials as a function of strain rate is essential. Measurements show that strain rates in critical locations of a car in a crash situation can be over  $2000 \text{ s}^{-1}$ , and thus the automotive industry currently requires that the steel manufacturers supply, in addition to the conventional quasi-static stress-strain curves, data for their steels also at strain rates of  $500 \text{ s}^{-1}$  and  $1000 \text{ s}^{-1}$ . This high strain rates can be reached in a laboratory only with special research devices such as the Hopkinson Split Bar (HSB).

High strain rate deformation of different materials are being intensively studied at the Institute of Materials Science of Tampere University of Technology using the Hopkinson Split Bar technique. Currently there are two compressive HSB equipment at TUT, which allow testing of materials in the strain rate range of  $2 \cdot 10^2 \dots 10^4 \text{ s}^{-1}$  at temperatures ranging from  $-190 \text{ }^\circ\text{C}$  to  $1000 \text{ }^\circ\text{C}$ . Also a tensile HSB device for testing of sheet steels is being built, and the first tests will be made during spring 2005. The HSB devices at the Institute of Materials Science of TUT are the only high strain rate testing devices of this type in Finland. ▀



CV – **Michael Gasik**, DI (1983, electrometallurgy) at Dnipropetrovsk Metallurgical Institute, Ukraine, Lic. Tech. (1987, ferrous metallurgy) at Moscow Institute of Steel and Alloys, Russia, D. Sc. (1995, materials processing) at Helsinki University of Technology, D. Sci. Tech. (2000, powder metallurgy and composite materials) at Baikov's Institute of Metallurgy and Materials Science, Moscow. He is currently a Professor of Materials Processing and Powder Metallurgy laboratory in Helsinki University of Technology, Espoo. He is a co-author of more than 120 scientific papers, member of several scientific committees and societies. He is currently representative of Finland in the International Energy Agency (IEA) Hydrogen Implementation Agreement executive committee as well as European co-chairman of the International Advisory Committee on Functionally Graded Materials.

# Materials challenges in fuel cells and hydrogen technology

---

## Introduction – what is a fuel cell?

---

A fuel cell is an electrochemical device that converts the chemical energy of a reaction (between fuel and oxidant) directly into electrical energy. The basic physical structure, or building block, of a fuel cell consists of an electrolyte layer in contact with a porous anode and cathode on either side [1]. In a typical fuel cell, gaseous fuels are fed continuously to the anode (negative electrode) and an oxidant (i.e., oxygen from air) is fed continuously to the cathode (positive electrode); the electrochemical reactions take place at the electrodes to produce an electric current. A fuel cell should not be mixed with secondary batteries (accumulators). The battery (primary) is an energy storage device. The maximum energy available is determined by the amount of chemical reactant stored within the battery itself. The battery will cease to produce electrical energy when the chemical reactants are consumed (i.e., discharged). In a secondary battery, the reactants are regenerated by recharging, which involves putting energy into the battery from an external (electricity) source. The fuel cell, on the other hand, is an energy conversion device that theoretically has the capability of producing electrical energy for as long as fuel and oxidant are supplied to the electrodes [1].

The history of the fuel cell principle is dated back in 1839, when Sir William Grove has made his invention [2,3]. That fuel cell was in fact the earliest version of a lead-acid accumulator, but it did used platinum electrodes with sulphuric acid electrolyte. Platinum here was seemingly working as both a catalyst and a current collector. However, Grove did consider a fuel cell not as a primary source of power but rather a method “effecting the decomposition of water by means of its composition” [2]. Initially, fuel cells were seen as an attractive means for the generation of power because the efficiencies of other technologies were very poor. For instance, the coal-burning generation station built by T. Edison in Manhattan in 1882 converted only about 2.5%

of the available energy into electricity. W. Ostwald has written in his visionary paper about the wastefulness of steam engines already in 1894 and has expressed his hope that the next century would become the “Age of Electrochemical Combustion” [4]. Still in the 1920s the overall thermodynamic efficiency of reciprocating steam engines was approximately 13-14%, and steam turbines obtained just under 20%. These poor thermal efficiencies provided one of the major motivations for the pioneers of fuel cell development [3]. Because of role of coal as the major fuel at the beginning of the century, the emphasis was put on coal-derived fuels first. One of the pioneering works was done by L. Mond (founder of INCO) and C. Langer to develop coal gasification process producing a hydrogen-rich gas [3,5]. That time, however, sulphur and other impurities in the gas have resulted in fast poisoning of platinum catalysts and thus high costs of the fuel cells energy. As the efficiency of these other technologies rapidly improved, the interest in fuel cells waned. Only when the “space race” began in the late 1950s, fuel cells were rapidly developed for deployment in space [3].

In this paper a brief overview will be given about materials challenges for modern fuel cells technologies as well as for hydrogen storage, which becomes one of the critical issues of the “hydrogen economy”.

---

## Fuel cells types and advantages

---

There is a variety of different fuel cell types. They can be classified by use of diverse categories, depending on the combination of type of fuel and oxidant, whether the fuel is processed outside (external reforming) or inside (internal reforming) the fuel cell, the type of electrolyte, the temperature of operation, whether the reactants are fed to the cell by internal or external manifolds, etc. [1]. Theoretically, any substance capable of chemical oxidation that can be supplied continuously (as a fluid) can be “burned





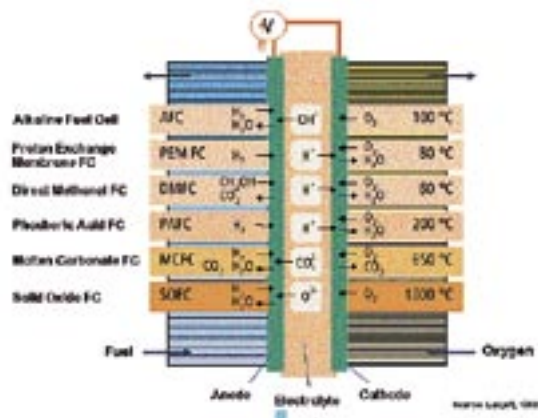


Figure 1. Different fuel cell types and their operational conditions.

galvanically” as fuel at the anode of a fuel cell. Similarly, the oxidant can be any fluid that can be reduced at a sufficient rate. Gaseous hydrogen has become the fuel of choice for most applications, because of its high reactivity when suitable catalysts are used, its ability to be produced from hydrocarbons for terrestrial applications, and its high energy density when stored cryogenically for closed environment applications, such as in space. Similarly, the most common oxidant is gaseous oxygen, which is readily and economically available from air for terrestrial applications, and again easily stored in a closed environment [1]. The most common classification of fuel cells is by the type of electrolyte used. It includes 1) polymer electrolyte fuel cell (PEFC), also known as proton exchange membrane (PEM) fuel cell, 2) alkaline fuel cell (AFC), 3) phosphoric acid fuel cell (PAFC), 4) molten carbonate fuel cell (MCFC), and 5) solid oxide fuel cell (SOFC). Some fuel cells may also use methanol as a fuel so these fuel cells are often called also “direct methanol fuel cells” (DMFC). “Direct” means that fuel (methanol in this case) is not being externally reformed in any way, but rather oxidised directly. Other fuel cell types also exist but they are mostly of a scientific interest. The summary of these fuel cell types is shown in Fig. 1.

It is clear that the operating temperature, and useful life and power density of a fuel cell dictate the physicochemical, thermomechanical and other properties of materials used in the components (i.e., electrodes, electrolyte, interconnect, current collector, etc.).

The efficiency of a fuel cell (besides absence of moving parts, noise and less emissions) has been the most attractive feature since their invention. Fig. 2 demonstrates the comparison of the fuel cells with realistic engines and other ways of electric power generation. Why fuel cells are so efficient? Unlike a heat engine, the fuel cell does not need to achieve the large temperature differential to achieve the same Carnot cycle efficiency as the heat engine. This is because of the added energy gained from Gibbs free energy as opposed to simply the thermal energy – the theoretical efficiency limit for a fuel cell is thus simply as  $\Delta G^\circ/\Delta H^\circ = 1 - T \cdot \Delta S^\circ/\Delta H^\circ$ . For hydrogen oxidation into water this value is about 80-90% depending on temperature and pressure. The resulting freedom from large

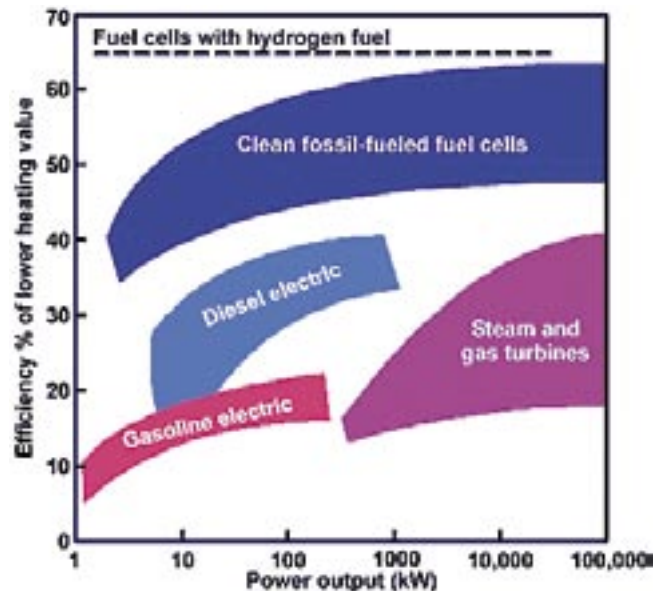


Figure 2. A comparison of the electric power generation efficiency of fuel cells, engines and turbines.

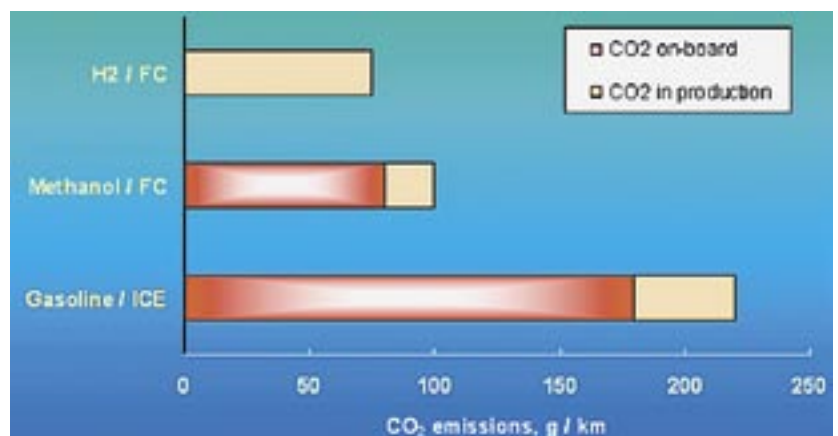
temperature differentials in the fuel cell provides a great benefit because it relaxes material temperature problems when trying to achieve comparable efficiency [1].

The advantage of using hydrogen as a fuel (besides the obvious effect on the emissions) lies in a high energy density of  $H_2$  - about 33 kWh/kg. For a comparison one may recall that respective value for diesel fuel is 13.2 kWh/kg, for methanol 6.2 kWh/kg, and for lithium primary battery 0.35 kWh/kg only. For the point of view of car user (in the case of compatible well-to-wheel efficiencies), this affects significantly reduction of the emissions even if hydrogen is produced solely by hydrocarbons reforming (Fig. 3).

### International landscape

From the point of view of power generation, fuel cells and hydrogen are now being considered as an additional factor of the energy supply security in the EU. The European “World Energy Technology and Climate Policy Outlook” predicts an average annual growth rate of 1.8% for the peri-

Figure 3. A comparison of  $CO_2$  emissions for a fuel cell (FC) car for different fuels with gasoline + internal combustion engine (ICE). Calculations are based on European UDC.



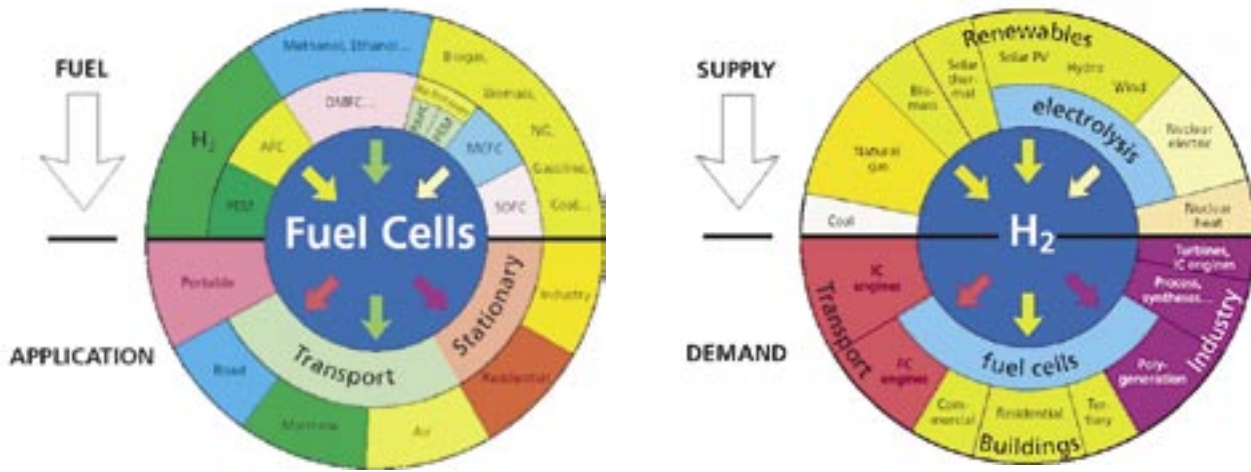


Figure 4. European vision on hydrogen primary sources, energy conversions and fuel cells applications [6].

od 2000-2030 for primary energy worldwide. The increased demand is being met largely by reserves of fossil fuel that emit both greenhouse gasses and other pollutants. Those reserves are diminishing and they will become increasingly expensive [6]. Currently, the level of CO<sub>2</sub> emissions per capita for developing nations is 20% of that for the major industrial nations. As developing nations industrialise, this will increase substantially. By 2030, CO<sub>2</sub> emissions from developing nations could account for more than half the world CO<sub>2</sub> emissions. Fig. 3 shows these emissions indeed could be substantially reduced even hydrogen is derived from fossil fuels. The EU hydrogen and fuel cell technology platform prepared in 2002 has taken these issues into consideration and has recently started a variety of integrated projects, lighthouse demonstrations, RTD activities and support actions in the field [6,7]. The CUTE project is one of the most public, involving several European cities starting fuel cell bus public service with hydrogen as a fuel. Fig. 4 shows a summary for both hydrogen and fuel cells activity areas considered in the European Union.

A coalition of US fuel cell stakeholders recently called for a ten-year US Federal Government programme to implement and deploy hydrogen and fuel cell technologies with \$5500M of public funding. The US Administration has proposed in 2003 a total of \$1700M over the next five years to develop hydrogen fuel cells, hydrogen infrastructure and advanced automotive technologies (the FreedomCAR program). According to the US Department of Energy, those activities will finally result in 750000 new jobs by 2030 [6-8]. Besides national program on hydrogen and fuel cells, USA has initiated a new international activity [9] in the framework of International Partnership for Hydrogen Economy (IPHE).

Japan is also aggressively pursuing the research and demonstration of hydrogen and fuel cells with an annual budget estimated at around \$240-300M. Japan has recently commissioned six hydrogen-fuelling stations in Tokyo and Yokohama. The Japanese have announced initial commercialisation targets of 50000 fuel cell vehicles by 2010, and 5M by 2020, and installed stationary fuel cell capacity of 2.1 GW by 2010, with 10 GW by 2020 [6]. The worldwide activities in hydrogen and fuel cells research are also being pursued under specific implementation agreements of International Energy Agency (IEA). Here all IEA member countries can participate in these research, development and demonstration under various topics [10].

### Fuel cells and materials challenges

Fuel cells thus are demonstrating excellent efficiency, high reliability and low emissions. Why we do not have them yet in our everyday use? Since their invention, fuel cells deployment has been hindered by several major technical factors: high costs of basic elements and materials, uncertain long-term stability of the components, sensibility to different poisons present in fuels (SO<sub>2</sub>, CO, H<sub>2</sub>S, NaCl, etc.). Independently on fuel cell types, costs have been the major drawback, raising the fuel cell electricity costs far beyond "conventional" electricity prices despite higher efficiency values. More efficient membranes, electrodes, catalysts are being constantly developed [7]. It becomes clear that the success of fuel cells would be mainly based on the ability of industry to offer cheaper and better materials: catalysts without noble metals, new carbon materials, novel electrolytes and membranes, reliable interconnect materials etc.

Materials challenges for fuel cells are very demanding. In this article only some of the examples will be shown to demonstrate the multifunctionality of fuel cells environment and multi-science approach one should use to find the proper solutions.

Different fuel cell types (Fig. 1) present different demands for materials combinations and their working conditions. For example, a PEM fuel cell consists of three major components: a membrane-electrode assembly (MEA), bipolar plates (separators) and seals [1,11]. MEA consists of a polymer type membrane, two dispersed catalyst layers and two gas diffusion layers (for anode and cathode sides). The latter (GDL) is usually made of porous carbon cloth, paper or the like, of 100-300 μm thick. The GDL structure should allow gases to spread out to be in a contact uniformly with the entire active area of the catalyzed membrane [11]. A GDL that allows water vapour to reach the MEA keeps membrane humid and improves the efficiency of the PEM fuel cell – however, at the same time it should support liquid water quick removal preventing flooding of the cell. Thus GDL should combine properties of both hydrophilic and hydrophobic materials at the same time. Normally this is achieved by adding some amount of PTFE to carbon materials.

Bipolar plates in PEM fuel cells normally have four functions [1,11,12]: fuel/oxidant distribution, water management, heat removal, and current collection. Individual PEM cells are being combined into a stack of the desired power.

Bipolar plate base metal	Al	Ti	Ni	Stainless steel
<b>Manufacturing methods:</b>				
• Machining	++	++	++	++
• Cold closed die forging	+	+	+	+
• Stamping	+/-	+/-	+/-	+/-
• Embossing	+	?	?	+
• Die casting	+/-	-	-	-
• Investment casting	+/-	+/-	+/-	+/-
• Powder metallurgy (forging)	++	++	+/-	++
• Electroforming	-	?	+/-	-
<b>Coatings:</b>				
• Conductive polymers	?	?	+	+
• DLC	?	?	+	+
• Au/Ni/Cu	+			
• Graphite foil	+	+	+	
• Graphite topcoat over Ti/TiAlN/Cr	+	+	+	+
• Sn(In)O <sub>2</sub>				+
• Pb/PbO/PbO <sub>2</sub>				+
• Organic self-assembled polymers	?			?
• Au/SiC				+
• TiN/CrNiMo	+	+		+
• TiAlN	+			
• TiN				+

**Table 1.** A summary of manufacturing methods and coatings used for PEM bipolar plates. ++ means a widely used technique, +/- sometimes suitable, - unsuitable one.

Component	First SOFC prototypes, 1960s	First SOFC demos, 1970s	First SOFC commercial units, 1980-1990s
Anode	Pt	Ni/ZrO <sub>2</sub> cermet	Ni/ZrO <sub>2</sub> cermet, ~150 μm, 20-40% porosity
Cathode	Pt	Stabilized ZrO <sub>2</sub> with Pr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , SnO/In <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Doped LaMnO <sub>3</sub> , 30-40% porosity
Electrolyte – Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub> -stabilised ZrO <sub>2</sub> (YSZ)	YSZ, thickness ~500 μm	YSZ, thickness varied	YSZ, thickness ~30-40 μm
Interconnects	Pt	Mn-doped CoCrO <sub>3</sub>	Doped LaCrO <sub>3</sub> , ~100 μm

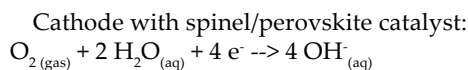
**Table 2.** Evolution of materials for SOFC components [1].

Many factors have to be met for a bipolar plate material: chemical compatibility, excellent corrosion resistance at pH = 1-3, low cost (< 0.0045 €/cm<sup>2</sup> including fabrication costs), low density (< 5 g/cm<sup>3</sup>), good electronic and thermal conductivity, desired gas diffusivity, low stack volume per kW power, etc. [11]. At the present, no single material can satisfy the whole set of these requirements. Basically, carbon-based composites and coated metallic plates are used (**Table 1**).

Catalysts are one of the key materials in fuel cells in respect to both performance and costs. It is known the best catalytic activity in fuel cells reactions is being provided by noble metals like platinum, palladium, etc. Unfortunately, extensive use of noble metals is cost-prohibitive – if one thinks about USA car fleet to be shifted towards fuel cell vehicles, worldwide platinum recovery should be increased at least for 48% at the current price level. It is unlikely that substantial noble metal mining increases so and significant (a few times) prices reduction would be expected. Thus, fuel cells must employ alternative catalysts without noble metals [1,11-14].

This problem is being successfully solved so far only for high-temperature fuel cells. For low-temperature ones, only alkaline fuel cell has so far demonstrated a possibility to operate without noble metals at all. Here cathode side (oxygen reduction) utilises non-noble metals spinels like

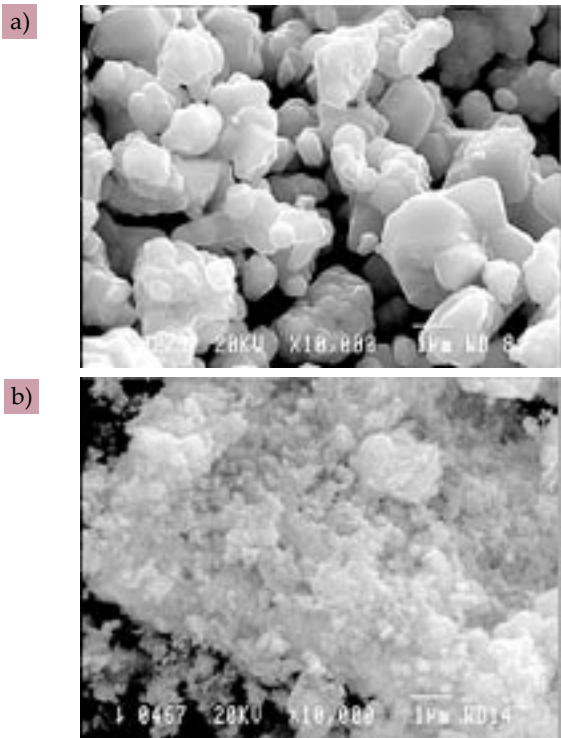
(Mn,Co)(Mn,Co)<sub>2</sub>O<sub>4</sub> or perovskite ABO<sub>3</sub> (e.g. (Ca,La)MnO<sub>3</sub>) catalysts, and the anode side (hydrogen oxidation) utilises doped (Cr, Ti, La, Fe) Raney nickel:



Traditionally, spinel is being made by a high-temperature calcination process (800-900°C) from fine metals oxides during several days. Together with spinel formation, grain size however increases and some sintering occurs, which decrease available surface area and therefore catalytic activity. Fine powder is also difficult to distribute evenly in the carbon carrier so catalyst-rich and catalyst-depleted areas of the electrode are very likely to happen. In its turn, this makes uneven current density distribution and decreases fuel cell power density and life-time.

In TKK a new process has been developed which involves direct synthesis of spinels from saline precursors in a microwave furnace together with carbon-based carrier material [13]. The whole process may take only few minutes and resulting spinel particle size is small and specific surface area is rather high (**Fig. 5**). Such catalysts



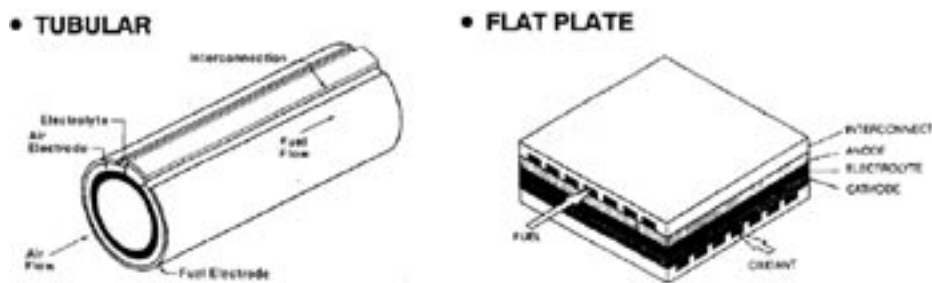


**Figure 5.** Synthesised spinel catalyst for the alkaline fuel cell: (a) conventional method – 900°C, 72 h; (b) new method in a microwave furnace of 15-30 min [13,14]. Note significant particle size differences.

application in an alkaline fuel cell has given a possibility to increase power density by 20-35% [14]. Using non-traditional routes like microwave synthesis allows significantly decrease catalyst production costs, make the process more robust and improve catalytic activity. In its turn, this means lower catalyst loads in mg/cm<sup>2</sup> may be employed to reach the same power density of the electrode.

As authors [12] point out, it is of note that materials presently being used in PEMFC and SOFC are essentially same that were suggested in the 1980s. Despite innovative fabrication processes and materials tailoring, only in the last few years engineering and commercialisation issues have highlighted the inadequacies of originally chosen materials [12]. For instance, SOFC technology has been developed for more than forty years that led to general approval of materials based on (La,Sr)MnO<sub>3</sub> for cathode, stabilized zirconia (YSZ or the like) for electrolyte and Ni/YSZ porous cermet for anode (Table 2).

For electrolyte, versions based on Ce<sub>0.9</sub>Gd<sub>0.1</sub>O<sub>1.95</sub> and (La,Sr)GaO<sub>3</sub> have been suggested to reach lower working temperatures (500-600°C). Other cathode materials like (La,Sr)FeO<sub>3-x</sub>, (Nd,Sr)(Fe,Co)O<sub>3</sub>, (La,Sr)(Fe,Ni)O<sub>3</sub> etc. are being investigated [12]. Obviously, than manufacturing of such an assembly requires several high-temperature steps (sintering/firing) that may lead to a formation of undesirable products like La<sub>2</sub>Zr<sub>2</sub>O<sub>7</sub> and SrZrO<sub>3</sub> at the interfaces. Lanthanum chromite LaCrO<sub>3</sub> used in interconnects (especially for tubular SOFC, Fig. 6) however weakens the assembly due its unmatched thermal expansion and low thermal conductivity (< 5 W/m·K). Also a functionally



**Figure 6.** Tubular and planar configurations of high-temperature solid oxide fuel cells [1].

**Table 3.** Areas of fuel cells materials research

Fuel cells components	Main area of activities and developments
Membrane materials (PEM)	Costs, synthesis issues, higher temperatures tolerance (<200°C), performance, degradation and tolerance to poisons
Electrolytes (AFC, SOFC)	Costs, CO <sub>2</sub> tolerance (AFC), mechanical strength, stability and oxygen ionic conductivity (SOFC)
Catalysts (PEM, AFC)	Noble metals-free, costs, recyclability, performance and long-term stability for low catalysts loads
GDL (PEM, AFC)	Conductivity, density, pore-size distribution, wetting properties
Electrodes (AFC, SOFC)	Strength, mechanical properties and conductivity of ceramics (SOFC) and carbon (AFC) materials, chemical compatibility, manufacturing technology, long-term stability
Bipolar plates (PEM)	Chemical compatibility, excellent corrosion resistance, low materials and fabrications costs, low density, good electronic and thermal conductivity, desired gas diffusivity, low stack volume per kW power, coating, surface finish and tolerance requirements (< 50 μm)
Interconnects (SOFC)	Matched thermal expansion, good electrical conductivity and corrosion stability, chromium evaporation, compatibility with other materials, costs and manufacturing

graded material concept has been successfully applied to relax thermal stresses during manufacturing and exploitation of SOFC. Alternative materials suggested for interconnects were dispersion-strengthened chromium alloy (Cr-5%Fe-1%Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) and ferritic stainless steels. Interconnect alloys should have low electrical resistance, low thermal expansion and withstand oxidizing corrosion environments. Due to high temperatures (>750°C) in the presence of oxygen and water, chromium tends to vaporise via CrO<sub>3</sub>, CrO<sub>2</sub>(OH)<sub>2</sub> and Cr(OH)<sub>3</sub> depleting interconnects, stacking the pores and forming unwanted spinels like MnCr<sub>2</sub>O<sub>4</sub> and NiCr<sub>2</sub>O<sub>4</sub>. These may significantly degrade SOFC assembly performance [1,12]. It was also found that using a non-symmetrical design (e.g. cathode/anode areas ratio > 1) may increase effective SOFC power density in three times [12].

The majority of efforts in fuel cells development is being coped with challenges in materials design and economically suitable manufacturing. The general trend shows activities directed towards high-temperature PEM (150-200°C) and low-temperature SOFC (500-700°C), Table 3 [1,11,12]. For PEM, effective materials solutions are being sought also for reformers.

### Materials for hydrogen economy

A lot of materials issues are present in hydrogen technology. Whatever it takes to hydrogen – production, reforming, compression, liquidification, transportation, etc. – different requirements are being raised in front of materials producers and suppliers. Here only hydrogen storage materials and their recent developments will be considered. When hydrogen is produced, one has to solve the problem of short- and long-term storage of hydrogen. The most abundant hydrogen “chemical storage” of our everyday use is water – it has 11% of hydrogen by weight. Although water might be only split using electrolysis or some specific chemical reactions, it is a good base for comparison of different storage technologies. It is also clear that different users set different parameters towards a storage system. For example, hydrogen car users would like to have a lightweight storage with more than 6.5% wt. H<sub>2</sub> (DoE and EU targets) which must be safe, fast, easy to handle and inexpensive. Stationary applications are less strict in respect to weight but more keen to get higher energy density. In all cases, hydrogen intake and recovery from the storage should have minimum troubles possible.

There are different competitive technological approaches about hydrogen storage – would it be better to have

compressed gas (700 bar and higher), liquid hydrogen or bound in a form metal hydrides. For consumer use and cars it is generally thought that the latter provides the most suitable compromise. There are a number of metal alloys or hydrides which will readily absorb hydrogen at low temperatures and release this hydrogen upon heating. The most common hydrides for hydrogen storage are Mg and its alloys, alloys of 2 or 3 elements from IV period transition metals (Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni and Zr, La group), Fig 7. The hydrides exhibiting good hydrogen storage characteristics can be cycled hundreds or thousands of times and thus are often called “reversible” or “rechargeable” hydrides.

Hydrogen in metal hydrides is safe, does not leak, and have exceptionally high packing density (90-150 kg H<sub>2</sub>/m<sup>3</sup>) vs. liquid hydrogen (70.8 kg/m<sup>3</sup> at 20.3 K) or compressed hydrogen (1-40 kg/m<sup>3</sup>), Fig. 8. However, classical metal hydride storage materials of AB<sub>5</sub> class (based on LaNi<sub>5</sub> intermetallics with hydrogen density of ~115 kg/m<sup>3</sup> – which are being used in Ni-MH batteries) normally have high density, which limits hydrogen content to 1-1.5% wt. only [15,16]. AB<sub>5</sub> hydrides can be easily charged also electrochemically and that is why they are also being used in rechargeable batteries [17].

Figure 7. Solid hydrogen storage compounds tree (source: IEA).

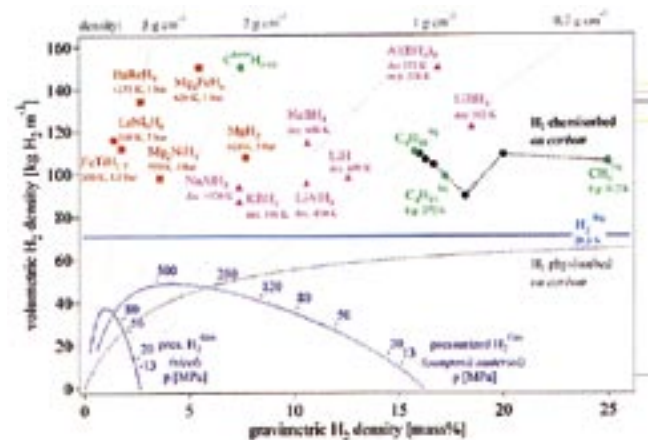
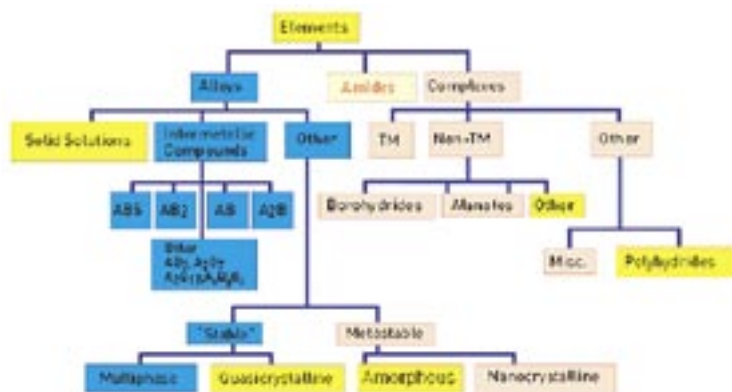


Figure 8. Hydrogen storage density in different hydrides in comparison with other methods [15,16]. Pressurised storage is shown for a steel tank (strength of 460 MPa) and a composite (strength 1500 MPa). FreedomCAR goals (2010) are densities >6.5% wt. and >45 kg/m<sup>3</sup>.

Metal hydrides based on AB<sub>2</sub> alloys (TiMn<sub>2</sub>, ZrV<sub>2</sub>) have storage capacity up to 2-3% but are more prone to degradation and are more expensive. “Straight” metal hydrides like MgH<sub>2</sub> may contain up to 6-7% wt. H<sub>2</sub>, but unfortunately they normally need rather high temperatures (250-300°C) to release hydrogen. Complex hydrides as NaBH<sub>4</sub> are not reversible. As one may see from Fig. 8, existing metal hydrides as hydrogen carriers remain far beyond conventional hydrocarbons in terms of mass content of hydrogen. During last years, however, a significant breakthrough was made in several countries with the discovery of ability of sodium alanates (NaAlH<sub>4</sub>, Na<sub>3</sub>AlH<sub>6</sub>) to store hydrogen reversibly up to 4.5-7.5% wt. within the “normal” temperature conditions and pressures.



**Figure 9.** Finnish commercial AFC with hydrogen storage and AFC pack installation into a "Fantasia" fuel cell car prototype (source: Hydrocell Oy).

Small amounts of Ti and Cr (<2%) were found to improve this behaviour [15,16]. This is the first time a complex hydride was demonstrated reversible storage properties and reasonable capacities.

Finland has joined IEA Hydrogen Implementation Agreement in 2004 to share research efforts worldwide in the field of advanced solid-state hydrogen storage in Task 17 [10,18]. This is one of the most active and wide task in the international research field. With advanced metal hydrides and suitable composite shell tank it is expected that EU target of 6.5% wt. H<sub>2</sub> would be reached soon with reasonable costs and robust technology. The testing of both commercial alkaline fuel cell and hydride storages is underway with a Finnish fuel cell car prototype "Fantasia" (Fig. 9).

## Conclusions

Fuel cells have been already proven excellent efficiency versus other means of power generation. The major obstacles seen during last years concerns costs, long-term durability and service issues. For all these materials performance, manufacturing and applications are essential. Today, more than ever, community is convinced that hydrogen economy predictions of Jules Verne may finally come to reality. He wrote: "I believe that water will one day be employed as

fuel, that hydrogen and oxygen which constitute it, used singly or together, will furnish an inexhaustible source of heat and light, of an intensity of which coal is not capable" ("The Mysterious Island", 1874). Materials engineers and scientists should say their word to fulfil Jules Verne's vision as they did with the others.

Author gratefully acknowledges the support from Tekes, EU, European Space Agency and companies involved in the hydrogen and fuel cells recent research projects of Helsinki University of Technology.▲

1. M. C. Williams (Ed.), Fuel Cells Handbook, 6<sup>th</sup> ed. (CD-ROM), NETL/DoE, 2002, 451 p.
2. W. R. Grove, The Correlation of Physical Forces, Longmans-Green, London, 1874, 298.
3. M. L. Perry, T. F. Fuller. J. Electrochem. Soc., 149, 7, 2002, S59-S67.
4. W. Ostwald, Z. Elektrochem., 1, 1894, 122.
5. L. Mond, C. Langer, Proc. Royal Soc. London, 46, 1889, 296.
6. The European Hydrogen and Fuel Cells Technology Platform site (<http://www.HFPEurope.org/>)
7. R. Hopiavaara, Polysteekki, Bull. Helsinki Univ. Techn., 3, 2004, 18-20.
8. US Department of Energy site (<http://www.eere.energy.gov/hydrogenandfuelcells/>)
9. The International Partnership for Hydrogen Economy site (<http://www.iphe.net/>).
10. The International Energy Agency site (<http://www.iea.org/>).
11. V. Mehta, J.S. Cooper, J. Power Sources, 114, 2003, 32-53.
12. N. P. Brandon, S. Skinner, B. C. H. Steele, Ann. Rew. Mater. Res., 33, 2003, 183-213.
13. T. Nissinen, Y. Kiros, M. Gasik, M. Leskelä, Chem. Mater., 15, 2003, 4974-7979.
14. T. Nissinen, T. Valo, M. Gasik, J. Rantanen, M. Lampinen, J. Power Sources, 106, 2002, 109-115.
15. A. Züttel, Materials Today, 9, 2003, 24-33.
16. J. A. Ritter, A. D. Ebner, J. Wang, R. Zidan, Materials Today, 9, 2003, 18-23.
17. J. Jiang, M. Gasik, J. Laine, J., M. Lampinen, J. Alloys and Comp., 322, 1-2, 2001, 281-285.
18. Sandia National Laboratory, Hydride Information Center (<http://hydpark.ca.sandia.gov/iea.html>)

## SUMMARY

Concerns about advanced power polygeneration, emissions control and society development bring ahead the use of hydrogen as an energy storage substance and fuel cells as the most efficient fuel-to-electricity conversion device.

What are fuel cells and what are the challenges in their introduction to diversified energy markets? What are the opportunities and drawbacks of hydrogen? How we should proceed with deployment and implementation of fuel cells? In this article these issues are being discussed from the point of view of materials technology.

It is now being widely recognised that materials become key solutions for fuel cell and hydrogen economy. The article demonstrates some examples of materials solutions for different fuel cell types and outlines international activities in the field.▲



# Outokumpu Oyj:n Säätiö jakoi apurahoja



*Teknillisen korkeakoulun rehtori Matti Pursula (vas), vuoden 2004 väitöskirjatyöstä palkittu tekn.tohtori Timo Fabritius, vuorineuvos Jyrki Juusela, vuoden 2004 pro gradu -työstä palkittu fil.yo. Mirja Kaikkonen, professoriapurahan saanut professori Seppo Kivi vuori ja Outokumpu Oyj:n Säätiön asiamies, teknologiajohtaja Markku Kytö.*

Outokumpu Oyj:n Säätiö perustettiin vuonna 1938 tarkoituksenaan edistää maamme metallien valmistuksen ja jalostuksen, metalli- ja kaivosteknologian, malmigeologian ja niiden liiketoiminnan tutkimusta ja opetusta yliopistoissa sekä tukea näiden alojen opiskelijoita ja tutkijoita. Tuolloin maamme eli ennennäkemätöntä nousukautta. Imatralle oli rakennettu Suomen sen hetkiseen sähkön kulutukseen nähden aivan ylimitoitettu vesivoimalaitos. Kapasiteetti oli kokonaista 150 MW ja epäilijät sanoivat siitä, että maassamme ei koskaan tulla tarvitsemaan niin paljon sähköenergiaa!

Samoihin aikoihin edettiin myös toisella rintamalla: vuonna 1910 löydettyä, Euroopan rikkaimmaksi osoitettua Outokummun kuparimalmia oli alettu hyödyntää, aluksi kuitenkin lähinnä viemällä malmi Saksaan metallurgista käsittelyä varten. Tiedossa oli jo, että malmi on mahdollista sulattaa ns. valokaariuuneissa sähkön toimesta energian lähteenä. Näin oli mahdollista oppia itse tekemään malmista kuparimetallia ilman huolta energian saannista. Sulatto käynnistyi vuonna 1936 Vuoksen rannalle pari kilometriä voimalaitoksesta alajuoksulle, samana

vuonna kuin Imatran voimalaitos.

Säätiön tarpeellisuus oli käynyt ilmeiseksi, koska Imatran sulaton rakentamisessa tarvittava osaaminen ja laitteet oli jouduttu hankkimaan ulkomailta, lähinnä Saksasta. Oli kova kiire kouluttaa valtakuntaan oma insinööri-kunta maaperämme rikkauksien hyödyntämiseksi.

Perustamisvaiheessa säätiön omaisuudeksi oli siirretty 10 miljoonaa silloista markkaa, mikä vastasi 7% yhtiön kyseisen vuoden liikevaihdosta! Eipä ihme, että säätiön hallituksessa ovat Suomen Pankin edustajina istuneet mm. myöhemmin Tasavallan Presidentiksi kohonneet Risto Ryti ja Mauno Koivisto ja asiamiehenä myöhemmin pääministeriksi ylennyt Reino R. Lehto.

Säätiöllä oli siis runsaat resurssit ja sen turvin hankittiin aluksi ulkomaisia asiantuntijoita organisoimaan ja toteuttamaan vuorityön, geologian ja metallurgian opetusta lähinnä Teknillisessä korkeakoulussa.

Itse yhtiö, Outokumpu Oyj ja sen edeltäjät ovat runsaan 90 vuoden aikana muuttuneet kotimaisesta, valtionjohtoisesta kuparikaivosyhtiöstä globaaliksi metalli- ja teknologiayhtiöksi, joka on kaivostoiminnasta luopunut lä-

hes kokonaan ja kuparituotantokin on vähitellen siirtymässä uusien omistajien käsiin. Painopistealueenamme on nyt ruostumaton teräs ja teknologia ja tämä kehitys on jo heijastunut myös Säätiömme sääntöihin ja sen apurahojen jakopolitiikkaan.

Nyt painopiste on opetuksen kehittämisen sijaan tutkimus- ja kehittämis-toiminnassa ja samalla olemme metallien jalostusketjussa siirtyneet selvästi eteenpäin niin, että geotieteiden osuus on vähentynyt ja materiaalitieteiden lisääntynyt.

Yksi aikakausi päättyi myös Teknillisen korkeakoulun historiassa, kun sen hallitus teki tänä syksynä päätöksen siirtää kalliitekniikan, kaivostekniikan, geofysiikan ja teknisen geologian yhteisen vastualueen materiaali- ja ympäristötekniikan osastolle.

Huolimatta monista muutoksista yhtiössä ja Säätiössä olemme tänäkin vuonna halunneet hieman kohottaa jaettavien apurahojen kokonaissummaa n. 300.000 euroon. Tällä olemme halunneet korostaa alamme merkitystä maamme talouselämässä ja kannustaa tulevia alan osaajia paneutumaan entistäkin syvemmälle metallien valmistuksen ja jalostuksen, metalli- ja kaivosteknologian, malmigeologian ja niiden liiketoiminnan tutkimuksen ja opetuksen ihmeelliseen maailmaan!

Onnea palkinnon saajille ja viihtykää! ▶

Outokumpu Oyj:n Säätiön tarkoituksena on edistää metallien valmistuksen ja jalostuksen, metalli- ja kaivosteknologian, malmigeologian ja niiden liiketoiminnan tutkimusta ja opetusta yliopistoissa. Alla apurahojen ja opinnäytetunnustuspalkintojen saajat.

### **Vuoden 2004 väitöskirja, pro gradu ja diplomityö**

Tunnustuspalkinnot, kukin 2.000 € erinomaisesti suoritetuista opinnäytteistä:

Tekniikan tohtori *Timo Fabritius*, Oulun yliopisto, palkittiin **vuoden 2004 väitöskirjatyöstä** "Modelling of combined blowing in steel making converters by physical models".

Diplomi-insinööri *Taru Aalto*, Tampereen teknillinen yliopisto, palkittiin **vuoden 2004 diplomityöstä** "Testing methods for the corrosion behaviour of adhesive bonded sandwich structures".

Filosofian ylioppilas *Mirja Kaikkonen*, Oulun yliopisto, palkittiin **vuoden 2004 pro gradu -työstä** "Magnesiittihiekan ja silikaattikalkin hyötykäyttö ympäristörakentamisessa"

### **Professoriapuraha**

Professori *Seppo Kivivuori*, Teknillinen korkeakoulu € 10.000

Professoriapuraha päätettiin myöntää professori Seppo Kivivuorelle Teknillisestä korkeakoulusta tunnustukseksi mm. hänen ansioistaan metallien muokkaustekniikan peruskouluttajana, tutkimusryhmien johtajana, oppikirjojen tekijänä sekä kannustukseksi uusien tutkimusprojektien käynnistämiseen.

### **Apurahat tutkimusryhmille**

Professori *Olof Forsén*, Teknillinen korkeakoulu € 33.000  
"Kullan ja platinametallien talteenotto Hydro Copper -prosessissa"

Professori *Simo-Pekka Hannula*, Teknillinen korkeakoulu € 14.000  
"Uudet teknologiat kupari- ja ruostumaton teräspohjaisissa materiaalisysteemeissä"

Professori *Jouko Härkki*, Oulun yliopisto € 14.000  
"Fluorin liukeneminen seoskuonasta"

Tekniikan tohtori *Seppo Louhenkilpi*, Teknillinen korkeakoulu € 32.000  
"Jatkuvavaluprosessin monitorointi ja

numeerinen mallintaminen"

Professori *Pekka Mäntylä*, Oulun yliopisto € 14.000  
"Tasomaisuuden ja profiilin ohjaus kuparilevyn valssauksessa"

Professori *Tuomo Tiainen*, Tampereen teknillinen yliopisto € 20.000  
"Microstructure and material properties of copper and copper alloys at high rates of deformation"

Professori *Mika Valden*, Tampereen teknillinen yliopisto € 14.000  
"Towards functional metal alloys via surface mediated processes"

### **Jatko-opiskeluun Suomessa**

Diplomi-insinööri *Teemu Hartikainen*, Tampereen teknillinen yliopisto € 14.000

Diplomi-insinööri *Jani Kaartinen*, Teknillinen korkeakoulu € 8.500

Diplomi-insinööri *Timo Kankaanpää*, Teknillinen korkeakoulu € 17.000

Diplomi-insinööri *Anu Martikainen*, Teknillinen korkeakoulu € 17.000

Filosofian maisteri *Jari Näsi*, Oulun yliopisto € 14.000

Tekniikan lisensiaatti *Pekka Rajamäki*, Lappeenrannan teknillinen yliopisto € 14.000

Diplomi-insinööri *Katri Sirola*, Lappeenrannan teknillinen yliopisto € 14.000

Tekniikan lisensiaatti *Jorma Virtanen*, Teknillinen korkeakoulu € 7.000

### **Jatko-opiskeluun ulkomailla**

Diplomi-insinööri *Tiina Komulainen*, USA € 5.000

### **Matka-apurahat**

M.Sc. *Rodrigo Grau*, Teknillinen korkeakoulu € 3.000

Professori *Kari Heiskanen*, Teknillinen korkeakoulu € 2.500

Diplomi-insinööri *Piia Leskinen*, Turun yliopisto € 2.500

Tekniikan tohtori *Nóra Schreithofer*, Teknillinen korkeakoulu € 5.000

### **Muut apurahat**

Professori *Antti Korhonen*, Teknillinen korkeakoulu € 4.000

Erikoistutkija, dosentti *Jari Larkiola*, Valtion teknillinen tutkimuskeskus € 4.000

### **Opiskelija-apurahat (á 800 €)**

#### **Helsingin yliopisto**

*Kerstin Hagelberg*  
*Jari Kuntola*

#### **Oulun yliopisto**

*Timo Aalto*  
*Satu Hoikkala*  
*Sampo Jokitalo*  
*Markku Korhonen*  
*Sari Lehtola*  
*Marianne Myllykoski*  
*Katja Mörsäri*  
*Markus Sirviö*  
*Saija Turunen*

#### **Turun yliopisto**

*Paula Kajava*  
*Aleksis Klap*  
*Veli-Pekka Kämäräinen*  
*Heta Lampinen*  
*Mikko Nikkilä*  
*Annuukka Torvinen*

#### **Teknillinen korkeakoulu**

*Ilkka Harri*  
*Hanna Hykkyrä*  
*Ville Kähkönen*  
*Minttu Linja-aho*

#### **Tampereen teknillinen yliopisto**

*Suvi Veräjänkorva*

#### **Lappeenrannan teknillinen yliopisto**

*Pentti Pakarinen*  
*Sami Virolainen*  
*Mikko Vänskä*

#### **Åbo Akademi**

*Anna Dumell*  
*Annika Kruuna*  
*Elin Sigberg*

### **Opiskelu ulkomailla**

*Heidi Björklund*, Norja  
*Ossi Kangas*, Saksa  
*Jenni Karjalainen*, Australia ▴

**OUTO  
KUMPU**



Magnus Ericsson (left) of RMG, Prof. Dennis Buchanan, Deborah Craig of RMG.

Ken Gerbino of Kenneth J. Gerbino & Company, USA.



Magnus Ericsson, RMG

On November 16<sup>th</sup> and 17<sup>th</sup>, the first exploration and mining conference directed towards the financial community, was held in Stockholm, Sweden. The conference was organised by the Swedish mineral economists and policy analysts, Raw Materials Group, and sponsored by seven leading exploration and mining companies active in Sweden and Finland: North Atlantic Natural Resources, Lundin Mining, Boliden, Lappland Goldminers, Dragon Mining, Beowulf plc, and Riddarhyttan Resources.

# Full house for mining investment

The goal of the conference was to increase the awareness and understanding of the dynamic Nordic mining sector among stock analysts, fund managers and financial journalists. The conference attracted over 100 persons to "Jernkontoret", filling to capacity the historical home of the Swedish iron and steel producers, located in the centre of the financial district.

On the first day, there were a combination of speeches, both from industry analysts and the sponsoring companies. On the second day, Prof. Dennis Buchanan of the Royal School of Mines spoke in detail about the valuation of exploration and mining projects. Interest in this conference segment was so strong that a longer in-depth seminar is already being planned for the spring. Sweden's Chief Mine Inspector, Jan-Olof Hedström discussed the key aspects of Sweden's Mineral Law, as well as the changes to the law that will come into effect as of year-end.

Magnus Ericsson, Managing Director of Raw Materials Group, opened the conference with an overview of the global mining industry, giving his opinion that the positive trends within the industry may be more than a cycli-

cal upswing. The demand for minerals and metals created by economic development in Asia, primarily China and India, might reasonably lead to a sustainable, extended period of growth for the mining industry. This would also be positive for Swedish mining equip-

ment and service suppliers such as Atlas Copco, Sandvik, and other smaller companies.

Jessica Cross from Virtual Metals, London, presented the results of a series of detailed studies of the gold markets around the world. According to her





interpretation, a changed attitude was needed among the buyers of jewellery in the US and Europe, if gold was to increase its market share. After reviewing the sales strategies of the central banks, and the limited success of the World Gold Council's newly introduced gold products, she recommended a cautiously optimistic outlook for the price of gold. Her colleague *Huw Roberts* of CHR Metals, forecast that base metal prices would remain unchanged at high levels, but his view was that increases during 2005 would level off. Huw also saw China as an engine for growth for the world's mining industry and was of the opinion that growth in China would continue for some time. Hedge fund manager *Ken Gerbino* of Los Angeles was significantly more optimistic concerning the development of the gold price and forecast that in the medium to long-term the price would increase significantly from today's levels.

One of London's leading mining stock analysts, *John Meyer*, discussed the art of dissecting and analysing exploration and mining companies. With a sparkle in his eye, John summarised the warning signs in a prospective client (always a man), that cause corporate finance professionals (usually a man) in the City to suspiciously raise their eyebrows and demand an independent evaluation of drill results: gold Rolex watches, leather coats, shiny suits, bowties, and men's purses.

The day ended with *Howard Stevenson* of Gold Fields of South Africa. He presented the Nordic region's largest mining project: "Arctic Platinum Project", a world-class open-pit mine currently being planned in northern Finland. To date, more than 70 million USD has been spent on exploration, with the following positive results: mineral resources in the Suhanko section are over 100 Mt with an average PGM grade of 1.97 g/t. This is one of the largest PGM deposits in the world, outside Russia and South Africa. Those countries currently produce the lion share of global platinum group metals today. It is expected that an investment decision will be reached in 2005, unless the current battle for Gold Fields causes a delay. The South African gold producer Harmony has made an offer for the much larger Gold Fields, and the affair is ongoing as of this writing.

A CD containing the presentations of all analysts, company representatives and the Chief Mine Inspector, are available from RMG at a nominal cost. Write to [info@rmg.se](mailto:info@rmg.se) ■

## Outokummun johtoryhmä uusiutuu

Uuteen johtamisjärjestelmään ja liiketoimintaorganisaatioon liittyen Outokummun hallitus on nimittänyt konsernille uuden johtoryhmän 1.4.2005 alkaen, ja määritellyt sen jäsenten tehtävät seuraavasti:

### *Juha Rantanen Toimitusjohtaja*

Konsernin johtoryhmän puheenjohtaja, vastuualueenaan konsernin johtaminen.

### *Kari Kaitue Varatoimitusjohtaja, johtoryhmän varapuheenjohtaja*

Vastuualueet: kaupallinen toiminta, Outokumpu Technology, Portfolioomistukset, strategia ja yrityssuunnittelu, liiketoiminnan kehittäminen, lakiasiat ja yrityskaupat, viestintä, sijoittajasuhteet, yhteiskuntavastuu.

### *Pekka Erkkilä Johtaja – General Stainless, tuotantojohtaja*

Vastuualueet: General Stainless -divisioonan tuotantotoiminta: Production Excellence -ohjelma, materiaaliavirtojen optimointi, tutkimus- ja kehitystoiminta, ympäristö-, terveys- ja turvallisuus-

asiat, hankintatoiminnot (raaka-aineet, energia, muut).

### *Olof Faxander Johtaja – Specialty Stainless*

Vastuualue: Specialty Stainless -divisioona.

### *Esa Lager Talous- ja rahoitusjohtaja*

Vastuualueet: taloushallinto ja verotus, rahoitus ja riskienhallinta, liiketoimintaprosessit ja IT, yhteiset palvelut (shared services).

### *Andrea Gatti Kaupallinen johtaja*

Vastuualueet: Commercial Excellence -ohjelma, myyntistrategia ja -suunnittelu, markkinointi, myynti-yhtiöverkosto, jakelu- ja palvelukeskukset, nimetyt avainasiakkaat.

### *Henkilöstöjohtaja, nimitetään myöhemmin*

Vastuualueet: johdon kehittämisohjelmat, palkitsemisjärjestelmät ja arviointiprosessit, sekä avainhenkilöiden rekrytointi.

[www.outokumpu.com](http://www.outokumpu.com) ■



## Olavi Huhtala Ruukki Metalsin johtoon

Insinööri *Olavi Huhtala*, 42, toimii Rautaruukki Oyj:n Ruukki Metals -divisioonan johtajana 1.1.2005 lähtien. Olavi Huhtala on ollut konsernin palveluk-

sessä vuodesta 1987 lähtien ja vastasi ennen uutta nimitystään Ruukki Fabrication -divisioonan toiminnasta.

[www.ruukki.com](http://www.ruukki.com) ■



## Ruukki Construction vahvistaa asemiaan

Rautaruukki Oyj on hankkimassa kansainvälisen pääomasijoittajaryhmän 50% omistusosuuden puolalaisesta Metalplast-Oborniki Holding Sp.z.o.o.:sta. Rautaruukki omistaa entuudestaan Metalplastista 16,6%. Rautaruukki on lisäksi tehnyt ostotarjouksen Puolan valtion omistamasta osuudesta sekä sitoutunut tekemään ostotarjouksen joh-

don ja henkilöstön omistamista osakeista. Tavoitteena on sataprosenttinen omistus. Metalplast on Puolan johtava metallipohjaisten rakennuselementtien valmistaja. Kaupan toteutuessa Ruukki Constructionista tulee yksi johtavista mineraalivillapohjaisten elementtien toimittajista Euroopassa.

[www.ruukki.com](http://www.ruukki.com) ■



## Outokummulta teknologiaa Australiaan

Outokumou Technology on saanut yli 35 miljoonan euron arvosta tilauksia Australian Ravensthorpe-nikkeliprojektista, jonka kokonaisarvo on 800 miljoonaa euroa. Outokummun toimitus kattaa rikastusteknologiaa, suunnittelun, laitetoimitukset ja asennukset. [www.outokumpu.com](http://www.outokumpu.com) ■



Kuvassa vasemmalta: Antero Hakapää, Veikko Lindroos, Roman Nowak, Annakaija Halonen, Tuija Mäkinen ja Kari Heiskanen.

## Kirjalahjoitus TKK:lle

Santa Barbaran päivän aattona, 3.12.2004, luovutti DI Antero Hakapää TKK:n Materiaali- ja kalliotekniikan osastolle kirjaharvinaisuuden.

Kirjaharvinaisuus on vuorineuvos filtri Eero Mäkisen (1886-1953) kirjoittama ”Vuoriteollisuus ja metallien valmistus”. Kirjan vastaanottajina olivat osaston johtaja prof. Kari Heiskanen, prof. emeritus Veikko Lindroos, vieraileva prof. Roman Nowak, osaston johtajan sihteeri Tuija Mäkinen ja kirjastonhoitaja Annakaija Halonen.

Harvinaisuus ei johdu varsinaisesti teoksen iästä, se on painettu vasta vuonna 1933. Kirjan harvinaisuutta korostaa lahjoituskappaleen esilehdellä oleva omistuskirjoitus ;

”Else Mäkinen 29.6.1933

avustajaa kiittäen,  
tekijä”

Kirjan tekijä Eero Mäkinen oli perusta-

massa Vuorimiesyhdistystä v. 1943 ja toimi Yhdistyksen puheenjohtajana aina kuolemaansa saakka. Sitä ennen hän opiskeli geologiaa Helsingin Yliopistossa, ja väitteli filosofian tohtoriksi Suomen suuriruhtinaskunnassa. Suuriruhtinaskunnan senaatti antoi apurahan, jonka turvin Mäkinen opiskeli Tukholman KTH:ssa vielä vuori-insinööriksi. Palattuaan itsenäiseen Suomen tasavaltaan hänestä tuli valtion ”*kontrollööri*” Outokummun kuparikaivosyhtiöön, jonka osakkeet omisti Hackmannin kaupahuone ja ulkomainen yhtiö. Loppu on historiaa, Mäkisestä tuli sittemmin valtion omistaman Outokumpu Oy:n ensimmäinen työntekijä ja toimitusjohtaja.

Alkoi mittavien teollisuusinvestointien katkeamaton sarja. Niistä ensimmäinen oli Outokummun ns. Vanha kaivos rinnerikastamoinen, joka komeili vuosikymmenet

mm. Mantere-Sarvan ”Suomen maantiedon oppikirja”ssa. Kyseessä olikin Pohjoismaiden ensimmäinen vaahdotusrikastamo. Rakennukset ovat edelleen pystyssä, muussa käytössä. Samanaikaisesti kaivosinvestoinnin kanssa Mäkinen teki laajaa oppikirjaa, joka kattoi koko alan, geologiasta kaivostekniikkaan, rikastustekniikasta jatkojalostukseen. Kirja ei ollut enää opiskelijain aktiivikäytössä kun sen lahjoittaja opiskeli TKK:n Vuoriteollisuusosastolla, mutta olisi voinut olla, koska asiasisältö oli edelleen totta ja kieli hallittua selkeätä suomea.

Kuparinvalmistusta koskevassa osassa (s.453) Mäkinen esittää magneettikiisun (FeS) polttamiskaavan, josta kehittyi lämpöenergiaa. Kirjoittaja toteaa.

”...reaktiosta kehittyvä lämpö on riittävä sulattamaan malmin ja uuni saattaa käydä useita päiviä ilman muuta polttoainetta...”.

Tästä on ainoastaan tusina vuotta liekkisulatuksen patenttihakemukseen. Sen allekirjoittajina on kaksi nimeä, Petri Bryk ja John Ryselin. Hakapää (kirjan lahjoittaja) kertoo kuulleensa 1970-luvulla John Ryseliniltä, että patenttihakemukseen olisi kuulunut kolmas nimi, Eero Mäkinen. Toimitusjohtaja Mäkinen oli kuitenkin todennut että, ”... kukaan ei saa päästä sanomaan että toimitusjohtaja rahastaa alaistensa insinöörin työllä, nimi Mäkinen jää pois tästä patenttihakemuksesta...”

TKK:n Materiaali- ja kalliotekniikan osasto ei lehden tämän numeron ilmestyessä ole enää samanlaisena olemassa, mutta kirjaharvinaisuus säilyy samassa paikassa uuden Materiaalitekniikan osaston kirjaston vitriinissä kaikkien halukkaiden nähtävillä.▲

Harri Lehto

## Hyväksytyt opinnäytetyöt syksyllä 2004

### OULUN YLIOPISTO Geotieteiden koulutusohjelma

#### PRO GRADU-TYÖT

##### Geofysiikka

**Karla Tiensuu** ”Integration of geophysical data with sediment composition of ODP Leg 188, Site 1166, Prydz Bay” (ohjaaja dos. Kari Strand)

##### Geologia ja mineralogia

**Petri Esa Saarela** ”Kullan esiintymistä kontrolloivat rakennegeologiset tekijät Suomussalmen Kuikkapurolla” (ohjaaja: yli.ass. A. Kärki)

##### Maaperägeologia

**Urupu Holopainen** ”Pohjaveden laatu ja siihen vaikuttavat tekijät Granadan laaksossa Espanjassa” (ohjaaja: prof. Juha-Pekka Lunkka)

**Hanna-Kaisa Saari** ”Soklin karbonaattiinmassiivoin luonnonvesien hydrogeokemia” (ohjaaja: FT Seppo Gehör)

**Leena Niska** ”Malmiennäköisiä maaperä- ja kultahippitutkimuksia Ruoselässä Sodankylässä” (ohjaajat: prof. Vesa Peuraniemi ja FM Eelis Pulkkinen)

**Tuija Siira** ”Clay minerals in Prydz Bay rise sediments as indicators of

Middle Miocene glacial evolution in East Antarctica” (ohjaaja: dos. Kari Strand)

##### Geoympäristö/Maaperägeologia

**Kirsti Juhonsalo** ”Bentoniittisavien ominaisuudet ja käyttö kaatopaikkarakentamisessa” (ohjaajat: TKT, yli-ins. Kauko Kujala ja DI Hannu Aurinko)

**Janina Katriina Reili** ”Tiivisturpeen ominaisuudet ja käyttö kaatopaikan pohjarakenteissa” (ohjaajat: yli-ins. Kauko Kujala ja dos. Toivo Kuokkanen)

**Anu Rautiala** ”Talkin louhinnan serpentiinittisavien ominaisuudet ja hyötykäyttö” (ohjaajat: TKT, yli-ins. Kauko Kujala ja Ilkka Tuokko, Mondo Minerals Oy)

#### VÄITÖSKIRJAT

##### Maaperägeologia

**Pekka Pulkkinen** ”Mineralogy and geochemistry of the fine and the clay fractions of till in northern Finland” (ohjaaja: prof. Vesa Peuraniemi)▲



### **Metallurgisten prosessien kinetiikka** 19. - 20.4.2005, Oulu

#### **Sisältö**

Kemiallisten korkea- ja matalalämpötilaprosessien ja -reaktorien kinetiikkaa rajoittavien ilmiöiden kuvaus ilmiö- ja prosessi/reaktoritasolla sekä siinä käytettävät modernit työkalut ja konseptit. Runsaasti käytännön esimerkkejä uusista teollisuuslähtöisistä sovelluksista metallien valmistuksen eri alueilta.

#### **Kohderyhmä**

Metallurgisen sekä kemian- ja energiateollisuuden, korkeakoulujen ja tutkimuslaitosten tutkimus-, kehitys- ja käyttöhenkilöstö.

#### **Lisätietoja**

Kehittämispäällikkö Markus Hietala ja kehittämissisäntä Irja Kellokoski puh. (08) 5509 700 tai etunimi.sukunimi@pohto.fi ja www.pohto.fi

### **Clean Steel Technology Short Course** August 23 – 24, 2005, Oulu

#### **Content**

The objective of this course is to develop a working knowledge of the processing science and technology which is necessary for the production of modern clean steels. The state of the art involving the ladle, tundish, mold and metal transfer operations are covered in this newly revised intensive course.

#### **Participants**

This course is directed on the production, research and development personnel in the steelmaking industry and on the postgraduate students at the universities. The course will be applicable to both BOF and EAF producers of carbon steel as well as to AOD producers of stainless steel.

#### **Lecturers**

Professor Richard J. Fruehan and  
Professor Alan W. Cramb,  
Center for Iron and Steelmaking Research,  
Carnegie Mellon University, USA

**Contacts and Information:** Markus Hietala,  
tel. +358 (08) 5509 753, e-mail:  
markus.hietala@pohto.fi



Info: [www.pohto.fi](http://www.pohto.fi)  
E-mail: [asiakaspalvelu@pohto.fi](mailto:asiakaspalvelu@pohto.fi)

**SONACO**  
T R A D I N G

We serve the Finnish  
Metallurgical Industry from  
our warehouse in Olkiluoto:

- FeSi 75 % lumpy and Fines
- FeSi 45 %/ 65 %/ 72 %
- FeCr HC and Charge
- FeCr Medium Carbon
- FeCr Low Carbon
- FeCr Extra Low Carbon
- FeMn HC/MC/LC
- SiMn
- FeV
- FeTi
- FeMo
- FeSiMg
- CaSi
- FeP
- Mn-metal
- Mg-metal

**PLEASE CONTACT US FOR  
A QUOTATION OR TO  
PLACE YOUR ORDER!**

Sonaco Trading Ab  
Värdshusvägen 1, 181 63 Lidingö Sweden

Tel: +46 8 765 28 01  
Fax: +46 8 765 28 05

[sonaco@sonaco-trading.com](mailto:sonaco@sonaco-trading.com)  
[www.sonaco-trading.com](http://www.sonaco-trading.com)



Näillä Inside Out -sivuilla käsitellään Vuorimiesyhdistys-Bergsmannaföreningen r.y:n jäsenten asioita.



## VMY'n 62. vuosikokous ja Vuorimiespäivät

Vuorimiesyhdistyksen vuosikokous on järjestyksessään 62., se pidetään 1.4.2005 Marina Congress Centerissä, jonne taas odotan ainakin puolituhatta jäsentä 2200'sta. Pääsalin puhujaksi perjantaina on lupautunut pääministeri Matti Vanhanen. Nyt odotetaan kiinnostuksella sattuu ko hänen kalenteriinsa yllättäen kiilaamaan jotain kaiken ohittavaa, TP'n suunnalta, majuri Koskelta (Force majeure), muualta! Muut puhujat ovat Outokummun uusi toimitusjohtaja Juha Rantanen sekä teräsajätti Arcelorin varapääjohtaja Jean-Yves Gilet. Tulemme kuulemaan häneltä, että Arcelor tekee paljon suurempia asioita kuin parranajoteriä.

Ulkomaan vieraat on viimevuotiseen tapaan kutsuttu skandinaavisista naapurimaista ja pienen merenkin takaa, Viros-ta. Aamupäivä päättyy täysinpalvelleen puheenjohtajan katsaukseen, aiheena alan teollisuuden viimevuotinen tila ja edistymisen. Kysyn kilpailijoita Tosikoille; lounaan aikana sitsilauluja äännekkäästi, mieluiten unisono, ja peräkkäin! Lounaan päälle jaostot kokoontuvat omiin vuosikokouksiinsa, ohjelman pääset lukemaan maaliskuisesta kutsukirjeestä.

Saman perjantain Gaalailallinen nautitaan viimevuotiseen tapaan DIPOLISSA. Il-

lan yllätysohjelmasta vastaa isäntäfirmaksi valitunut Larox Oyj. Yrityksen perustaja ja ensimmäinen toimitusjohtaja Nuutti Vartiainen on yhdistyksemme ainaisjäsen, mukana useassa jaostossa vuodesta 1974. Hän on yrityksensä kautta tuttu monelle vuorimiehelle ainakin jo 60-luvulta. Nuutti, toivottavasti et lue tätä ennen aprillipäivää! Laroxilaisten tarkoitus on yllättää Sinut talsalukuisen merkkipäiväsi kunniaksi, se sattu juuri vuosikokouksen kynnykselle.

Maestroon emme pääse lounastamaan lauantaina 2.4.2005, emmekä kai koskaan. Ravintolan uusi omistaja on vaihtanut konseptia, nykytilat eivät sovi puolentuhannen juhlijän pitkään lounaaseen. Marina Congress Center avaa kello 13 yläkerrassa kaikki ovensa – ja kolme baaria. Pöytäkartan mukaan yli 500 mahtuu, eivät tosin kaikki yhtäaikaan tanssilattialle. Orkestereiden osalta tarjoan arvauskilpailua teekkariorkesterin nimestä, ja kielenkäytöstä. Vakiotanssimusiikin tarjoaa Vuorimiesorkesteri, jonka taitteellista tasoa korottaa pääsihteerin kornein puuttuminen. ▀

Tervetuloa  
Antero Hakapää  
pääsihteeriksi

- \* Vuorimiespäivät ja 62. vuosikokous
- \* Rikastus- ja prosessi- jaosto kaipaa uusia jäseniä
- \* Nuoren jäsenen -stipendi haettavana
- \* Vuorinaiset tutustuneet Meritan taidekokoelmiin
- \* Vuorinaisten pikkujoulu

# Rikastus- ja prosessijaoston kuulumisia

Elämme ainakin almanakan mukaan parhaimmillaan lumisia ja valkeita aikoja. Talvenkin aikana jaoston johtokunta toimii ja suunnittelee uusia urotekoja ja seikkailuja "lumikengät jalassa".

Seuraava Vuorimiesyhdistyksen ja myös jaoston näkyvämpi ilmenemismuoto on Vuorimiespäivät, joihin on suunniteltu ainakin Rikastus & prosessijaoston osalta hieman uudistettua ja mahdollisesti myös "äänekkäämpää" ohjelmaa.

Oletamme perinteisen jaoston vuosikokouksen sujuvan vanhalla rutiinilla, mutta sen jälkeen tapahtuvaa ohjelmaa on hieman "terätetty". Ohjelmassa on

paneelikeskustelu, jonka aiheena ovat kaikkia koskettavat alan ympäristöhaasteet. Kaikkea emme tässä vaiheessa vielä aio paljastaa, mutta kannattaa tulla itse katsomaan paikan päälle.

Toinen jo alustavasti ideoitu asia on syksyn sävel, eli ekskursionkaravaani jatkaa kulkuaan tällä kerralla tosin "suunnilleen Suomessa", kuten suunnitteluraami sanoo.

Toinen suunnittelun alla oleva syksyn aktiviteetti on Automin-projektin yhteydessä järjestettävä seminaari, joka toteutuu jälleen marraskuussa 2005. Tästä tietoa luonnollisesti myöhemmin.

Jaoston johtokunnan uudenvuo-

denlupauksena olemme luvanneet hankkia 50 uutta jäsentä vuoden 2005 aikana. Tähän lupaukseen tarvitsemme myös Sinun panostasi! Tarkkaile siis ympäristöäsi, ja iske heti, jos huomaat kollegoissasi jaostoon kuulumattomia. Ampumatarvikkeita ja suojalaseja voit kysellä ainakin jaoston sihteeriltä ([Sami.Hindstrom@outokumpu.com](mailto:Sami.Hindstrom@outokumpu.com), 040-576 0655 tai puheenjohtajalta ([Harri.Lehto@hut.fi](mailto:Harri.Lehto@hut.fi), 050-555 2786).

Nyt kun uudenvuodenlupaukset on jo moneen kertaan unohdettu, niin hankkikaa vaikka jääkiekkomaalivahdin varusteet, ja yrittäkää torjua loppukauden (-talven) flunssat ja tietokonevirukset esimerkiksi niiden avulla. Tässäkin yhteydessä rikastus- ja prosessijaoston johtokunta haluaa toivottaa kaikille jäsenilleen erittäin hyvää talven taittamisaikaa 2005! ▀

*Parhain Vuorimiesterveisin, H & S  
Harri Lehto & Sami Hindström*

## Nuoren jäsenen stipendi

Vuorimiesyhdistyksen hallitus on perinteen mukaisesti päättänyt julistaa haettavaksi yhden (1), määrältään 1000 euron suuruisen nuoren jäsenen stipendin. Vapaamuotoiset hakemukset tulee toimittaa yhdistyksen pääsihteerille viimeistään **torstaina 3. maaliskuuta**. Yhdistyksen huomionosoituskäytännön mukaisesti:

Stipendi jaetaan hakemuksesta Vuorimiesyhdistyksen hallituksen päätöksellä opinnoissaan menestyneelle ja aitoa vuorimieshenkeä osoittaneelle yhdistyksen nuorelle jäsenelle. Nuoren jäsenen stipendi, joka jaetaan yhdistyksen vuosikokouksessa, julistetaan haettavaksi yhdistyksen kotisivulla ja Materialehdessä. Haku tapahtuu vapaamuotoisella, hakijan etevämmyyttä kuvaavalla esseellä, **mieluiten sähköpostitse: [antero.hakapaa@vuorimiesyhdistys.fi](mailto:antero.hakapaa@vuorimiesyhdistys.fi)**. ▀

**Vuorimiesyhdistys-Bergsmanna-föreningen r.y.**

*Antero Hakapää, pääsihteer*

## Vuorinaiset Vanhassa Pankkitalossa



Vanha Pankkitalo ja Taidesätiö Meritan Taidekokoelmat olivat houkutelleet 47 vuorinaista marraskuun ensimmäisenä tiistaina opastetulle kierrokselle.

Vierailu alkoi johtaja Olli-Petteri Lehtisen tervetulosanoilla. Samalla saimme kuulla, että Nordealla on yli sata vuotta kestäneitä asiakkuussuhteita, mikä on ennätys maailmanlaajuisestikin tarkasteltuna. Vanhassa pankkisalissa on käsitelty hopeamarkkoja ja ruplia ja käytetty puhelimen edeltäjää telefoonia.

Arkkitehti, professori Gustaf Nyström suunnitteli Suomen Yhdyspankille uuden pääkonttorirakennuksen, joka valmistui vuonna 1898. Ensimmäistä kertaa käytettiin helsinkiläisen rakennuksen julkisivumateriaalina Hangon punaista graniittia, ja tämä pankkirakennus, arkkitehti Bertel Jungin mukaan, on luonut suomalaisen kiviarkkitehtuurin perustan. Uusrenessanssityylistä julkisivua koristaa kuvanveistäjä Walter Runebergin 11

korkokuvaa, jotka esittävät eri elinkeinoja. Rakennuksen tilat olivat pankki-käytössä vuoteen 1936, sen jälkeen tiloja vuokrattiin mm. Hildenin kahvilalle ja muille liikelaitoksille. Vanhan Pankkitalon on entisöinyt arkkitehti Erik Uhlenius avustajineen käyttäen apunaan vanhoja piirustuksia ja professori Nyströmin kirjeenvaihtoa 1970-luvulla. Rakennus palautui jälleen pankin käyttöön ja myöhemmin Taidesätiö Meritan taidekokoelman sijoituspaikaksi.

Taidesätiö Merita on perustettu vuonna 2002, ja samana vuonna Nordea Pankki Suomi Oyj lahjoitti taidekokoelmansa 491 merkittävintä teosta perustamalleen sätiölle. Nordea Pankki Suomeen fuusioituneiden Kansallis-Osake-Pankin, Suomen Yhdyspankin, Helsingin Osakepankin, Suomen Työväen Säästöpankin ja Suomen Teollisuuspankin kymmenien vuosien aikana hankkima suomalainen arvotaide sisältää vanhaa suomalaista kuvataidetta sekä uudempaa suomalaista taidetta aina 1990-luvulle saakka. Aikalaistaiteilijoiden maalauksia, akvarelleja ja grafiikkaa hankittiin toimipaikkoihin asiakkaiden ja henkilöstön iloksi. Pankkikonttoreiden esimiesten



*Opas Hanna Mamia esittelee pankkisalin Kultakauden düsseldorfilaisen ja ranskalaisen tyyli-suunnan eroja. Romanttiset kotimaiset ja ihmisen jälki piilotettuna kuuluvat düsseldorfilaisen tyyliin ja vastaavasti kulttuurimaisemien ja selkeästi ihmisen kädenjälkiä esittelevä ranskalaiseen tyyliin, näiden erojen vertailu teki näyttelykierroksesta hyvin mielenkiintoisen.*

ja pankinjohtajien muotokuvia on niin runsaasti, että niillä voisi täyttää kaikki seinät. Pankinjohtajan presidenttiys on ollut vaatimuksena, jos on päässyt esille pankkisalin seinälle. Pankinjohtajina ovat toimineet presidentit Mannerheim (Akseli Gallen-Kallelan 2. versio) ja Paasikivi (Eero Järnefeltin maalaama). Mannerheimin muotokuvan maalauksessa ovat olleet taiteilijan ja mallin ystävyys-suhteet välillä katkenneina.

Taideteoksiin tutustumista täydensi suklaadipatut mansikat ja kuohuvii-nilasilliset. Vuorinaiset saivat noin pari tuntia kestäneellä kierroksella erittäin

kattavan käsityksen Suomen taidehistoriasta. Saimmehan nähdä Helene Schjerfbeckin, Akseli Gallen-Kallelan, Eero Järnefeltin, Ferdinand ja Magnus von Wrightin, Pekka Halosen, Hjalmar Munsterhjelm, Berndt Lindholmin, Fanny Churbergin, Santeri Salokiven, Aukusti Uotilan ja Antti Favénin tunnetuimpia teoksia. Albert Edelfeltin teos oli lainattu Ateneumin Edelfelt-näyttelyyn, koska Taidesäätiö Merita lainaa kokoelmistaan teoksia sekä koti- että ulkomaisille museoille ja myös tukee suomalaista taidetta ja taidehistorian tutkimusta apurahoin ja ylläpitää ja ke-

hittää omistamaansa taidekokoelmaa ja sijoittaa siihen kuuluvia teoksia yleisön nähtäväksi. Taidesäätiö Meritan verkko-osoitteen <http://www.artmerita.org/> kautta pääsee suorittamaan Kultakaudesta Kultavisan.

Vanhan pankkisalin seinältä sai selville myös ne kaupungit, joissa oli ollut pankkikonttori edellisen vuosisadan vaihteessa. Vuorinaiset haluavat kiittää vielä kerran kaikkia niitä henkilöitä, jotka järjestivät kaamoksen keskelle iloisen ja antoisan taide-elämyksen.▲

*Seija Aarnio*

## Vuorinaisten pikkujoulu Kansallisteatterissa

*Teatteriravintola Morkku oli valmistanut mahtavan päivällisen, joka oli tarpeen Jukka Puotilan voimakkaan Don Juan -tulkinnan seuraamiseen.*



Vuorinaiset viettivät pikkujoulua marraskuun viimeisenä tiistaina teatteripäivällisellä ja teatterinäytöksessä Kansallisteatterissa

*Hyvien ystävien seurassa on aina aikaa herkutella alkupalloilla, yllättyä välipaloilla, nautiskella pääruoalla ja hemmotella jälkiruoalla..*

Päivällisen jälkeen siirryimme sisäkautta Suuren näyttämön tiloihin, Helsinki näyttäytyi synkän sateisena ja loskaisena – päivällispaikan valinta oli onnistunut myös tästä näkökulmasta. Suuren näyttämön permannon istumapaikat tarjosivat hyvän yhteyden kaikille aisteille seurata Molièren näytelmän legendaarista parivaljakkoa, Don Juania (Jukka Puotila) ja Sganarellea (Juha Muje).

Pikkujoulun järjestäjät ansaitsevat monet kiitokset hyvin onnistuneista paikkajärjestelyistä.▲

*Seija Aarnio*



## Ohjeita kirjoittajille

### ➔ MATERIAALI TOIMITUKSEEN deadlineen mennessä

Pyrittävä lyhyeen ja ytimekkääseen esitystapaan. Artikkelien suositeltava enimmäispituus kuvineen, taulukkoineen ja kirjallisuusliitteineen on 4 painosivua.

### ➔ TEKSTIT

Levykkeellä tai sähköpostitse.

### ➔ KUVAMATERIAALI postitse EI SÄHKÖPOSTITSE

Alkuperäisenä (skannattavaksi) tai levykkeellä – jokainen kuva (valokuva, taulukko tai muu) omana tiedostonaan. Kuvien resoluutio 300 dpi.

Tallennusmuodot jpg, tif, eps

Wordillä tehdyissä kuvissa esim. viivat ja teksti eivät toistu tarpeeksi terävinä. Taulukoissa ym. käyvät parhaiten Powerpoint ja Excel.

➔ **PÄÄOTSIKOT JA ALAOTSIKOT** erotetaan toisistaan selkeästi.

### Tiede & Tekniikka -artikkelit

### ➔ KUVAT JA TAULUKOT

numeroidaan jatkuvasti ja niiden tekstit sekä näiden englanninkieliset käännökset kirjoitetaan erilliselle arkille. Kuvien paikat on merkittävä käsikirjoitukseen.

### ➔ KAAVAT JA YHTÄLÖT

on kirjoitettava selvästi ja yksinkertaiseen muotoon. Käytettävä SI-yksiköitä.

### ➔ KIRJALLISUUSVIITTEET

numeroidaan jatkuvasti // sulkuihin tekstissä ja esitetään lopussa seuraavassa muodossa:  
1. Järvinen, A.; Vuoriteollisuus-Bergshanteringen, 34 (1976) 35-39.

➔ Jokaiselle T & T -osaan tulevalle artikkelille on ilmoitettava **ENGLANNINKIELINEN OTSIKKO** ja kielellisesti tarkistettu englanninkielinen yhteenveto **SUMMARY** pituudeltaan enintään noin 20 konekirjoitusriviä. Kirjoittajasta **CV** ja **valokuva**.

### ➔ ERIPAINOKSET

toimitetaan kirjoittajan laskuun eri sopimuksella. Tilataan suoraan kirjapainosta (Sune Helenius 019-222 800) **ennen** lehden painatusta.

### ➔ NEKROLOGIEN

pitouden pyydämme rajoittamaan noin 150 sanaan.

### ➔ AIKATAULU

Aineisto toimitukselle viimeistään määräpäivään (deadline) mennessä.

### ➔ ILMOITUSAINEISTO KIRJAPAINOON:

Tammisaaren Kirjapaino, Christel Westerlund, PL 26, 10601 Tammisaari, E-mail: christel.westerlund@eta.fi

## KORJAUS

Materia 4/2004 lehdessä olleiden turmaliinikuvien (s. 48-49) kuvatekstit olivat vaihtuneet. Vihreä turmaliini on siis Kaatialasta ja mustat turmaliinikiteet Eräjärven louhoksesta. Ystävällisin terveisin, Jari Väätäinen  
Toimitus pahoittelee virhettä.



# Axios

## The next step in X-ray analysis

Axios, PANalytical's new range of wavelength-dispersive XRF spectrometers, is advanced, rapid, and easy-to-use. But most significantly, the Axios concept is built around you, with industry-specific versions that meet the precise needs of your application.

Axios is robust – built to work perfectly in unforgiving, on-site industrial conditions. Consequently, analytical performance is unaffected by heat and dust, assuring you of the precision required in typical production control environments.



**PANalytical**  
Sinikalliontie 1  
FIN-02630 ESPOO  
Finland  
Tel: 358 9 2709 5591  
Fax: 358 9 2709 5594  
jouko.nieminen@panalytical.com

[www.panalytical.com](http://www.panalytical.com)



**PANalytical**

# Vuorimiesyhdistyksen toimihenkilöitä 2004

The Finnish Association of Mining and Metallurgical Engineers 2004

## Prof. Kari Heiskanen, puheenjohtaja / president

Teknillinen korkeakoulu, Materiaalitekniikan osasto  
PL 6200, 02015 TKK 09-451 2789 fax 09-451 2795, 050-555 2789  
kari.heiskanen@tkk.fi

## DI Pekka Erkkilä, varapuheenjohtaja / vice president

Outokumpu Oyj, PL 270, 02201 ESPOO 09-4215503  
fax 09-4215550 pekka.erkkila@outokumpu.com

## GEOLOGIJAOSTO / Geology section

FT Raimo Lahtinen, pj / chairman, Geologian tutkimuskeskus 020 550 20 raimo.lahtinen@gsf.fi

## DI Mari Lahti, sihteeri / secretary, Suomen Malmi Oy

09-85 24 010 mari.lahti@smoy.fi

## KAIVOSJAOSTO / Mining section

DI, KTK Tauno Paalumäki, pj / chairman, Nordkalk Oyj Ab  
020 455 6852 fax 020 455 6313 tauno.paalumaki@nordkalk.com

## DI Jari Honkanen, sihteeri / secretary, Oy Finnrock Ab

09-77714031 fax 09-7771401 jari.honkanen@finnrock.fi

## RIKASTUS- JA PROSESSIJAOSTO / Mineral processing section

## DI Harri Lehto, pj / chairman, Teknillinen korkeakoulu

Mekaanisen prosessi- ja kierrätystekniikan laboratorio  
09-451 2786 fax 09-451 2795 harri.lehto@tkk.fi

## Sami Hindström, sihteeri / secretary Outokumpu Technology

09-421 2276 fax 09-421 3156, 040-576 0655

sami.hindstrom@outokumpu.com

## METALLURGIJAOSTO/Metallurgy section

## TkL Heikki Ylönen, pj / chairman, Rautaruukki Oyj

020 592 2434, 040-557 8647 heikki.ylonen@ruukki.com

## DI Riikka Koskelainen, sihteeri / secretary, Rautaruukki Oyj

020 592 9083 riikka.koskelainen@ruukki.com

## YHDISTYKSEN PÄÄSIHTEERI/Secretary General

DI, eMBA Antero Hakapää, Haltijatontuntie 4 B 10, 02200

ESPOO 050-2753, antero.hakapaa@vuorimiesyhdistys.fi

## YHDISTYKSEN RAHASTONHOITAJA/Treasurer

Tkl Ulla-Riitta Lahtinen, Kaskilaaksontie 3 D 108,

02360 ESPOO, 09-813 4758, 0400-456 195

ulla-riitta.lahtinen@vuorimiesyhdistys.fi

## Uusia jäseniä

Vuorimiesyhdistys-Bergsmannaföreningen ry:n hallitus on hyväksynyt seuraavat henkilöt yhdistyksen jäseniksi:

### Kokouksessa 10.11.2004

Grönroos, Jouni Åke, ekonomi, 29.4.1965, talous- ja riskienhallintajohtaja, Outokumpu Stainless Steel Oy, Riihitontuntie 7 A, 02200 ESPOO jaosto: met

Kekkonen, Marko Tapani, Tkt, 24.11.1967, opettava tutkija, TKK Metallurgian lab., marko.kekkonen@hut.fi, Kyyhkysmäki 12 A 12, 02650 ESPOO jaosto: met

Rainto, Ilkka Tapani, 171 ov., 13.1.1981, opiskelija, Oulun Yliopisto, irainto@paju.oulu.fi, Laurilantie 15, 94400

KEMINMAA jaosto: met  
Rantanen, Juha Ilari, KTM, 25.1.1952, toimitusjohtaja, Outokumpu Oyj, juha.rantanen@outokumpu.com, Outokumpu Oyj, PL 140, 02201 ESPOO jaosto: met

Vanonen, Laura Maria, DI, 17.3.1979, tutkija, TKK Metall- ja materiaaliopin lab., laura.vanonen@hut.fi, Hiihtomäentie 27 B 18, 00800 HELSINKI jaosto: met

### Kokouksessa 26.1.2005

Alitalo, Johanna, FM, 12.12.1975, geologi, Anglo American Exploration, Malä, aabv@telia.com, Kolpeneentie 29 B 39, 96440 ROVANIEMI jaosto: geo

Rajavuori, Leena Mari, FM, 5.12.1975, kaivosgeologi, ScanMining Oy, Pahtavaara, leena.rajavuori@scanmining.fi, Peltolanmutka 45 B 8, 97130 HIRVAS jaosto: geo

Talvitie, Pasi Mikael, FM, 12.7.1975, kaivosgeologi, ScanMining Oy, Pahtavaara, pasi.talvitie@iki.fi, Virkatkatu 8 E 17, 90570 OULU jaosto: geo

Autio, Jorma, TkL, 16.5.1957, projektipäällikkö, Saanio&Riekkola Oy, jorma.autio@sroy.fi, Saanio&Riekkola Oy, Lauluksa 4, 00420 HELSINKI jaosto: kai

Färilin, Kari, yo-konstr. tekn., 22.8.1958, myyntijohtaja, Sandvik Mining and Construction Finland Oy, kari.farlin@sandvik.com, SMC Finland Oy, PL 100, 33311 TAMPERE jaosto: kai

Koivisto, Jari Antero, DI, 27.12.1965, aluepäällikkö, Sandvik Tamrock Oy, jari.koivisto@sandvik.com, Sandvik Tamrock Oy, Pihtisulunkatu 9, 33310 TAMPERE jaosto: kai

Korsman, Ulla Marita, DI, KTM, 9.12.1965, tuotelinjapäällikkö, Sandvik Tamrock

Oy, ulla.korsman@sandvik.com, Sandvik Tamrock Oy,

PL 100, 33311 TAMPERE

jaosto: kai

Laitinmäki, Juha Sampo Viljam, 119 ov., 6.3.1978, opiskelija, TKK, Materiaalitekniikka, os., sampo.laitinmaki@hut.fi,

Koronakatu 5 A 2, 02210 ESPOO jaosto: kai  
Järvinen, Jussi Tapani, DI, 18.12.1977, Manager, Outokumpu Technology Minerals Oy, jussi.jarvinen@iki.fi,

Outokumpu Tech. Min. Oy, Riihitontuntie 7 C, 02200 ESPOO jaosto: rik  
Kasala, Tarja Hannele, DI, 10.8.1979, IT-suunnittelija, Outokumpu Stainless Oy,

tarja.kasala@outokumpu.com, Seminaarinkatu 8 as 19, 95400 TORNIO jaosto: rik  
Huitu, Kaisa Maria Annikki, 121,5 ov., 20.10.1979, opiskelija, TKK, Materiaalitekniikka, os.,

kaisa.huitu@tkk.fi, Pietiläntie 16 D 15, 03100 NUMMELA jaosto: met

Kekki, Antti Jussi, 120 ov., 12.9.1979, opiskelija, TKK, Materiaalitekniikka, os., akekki@cc.hut.fi, Teuvo Pakkalantie 8 K 98, 00400 HELSINKI jaosto: met

Lehtonen, Maiju Katriina, 132 ov., 9.4.1980, opiskelija, TTY, Materiaalitekniikka, os., maiju.lehtonen@tut.fi, Näyttämönkatu 6 C 34, 33720 TAMPERE jaosto: met

Närhi, Lauri Arvo, 174 ov., 4.6.1976, opiskelija, OY, Prosessitekniikka, Inarhi@paju.

oulu.fi, Kirkkokatu 2 A 9,

90100 OULU jaosto: met

Pallaskallio, Anne Maria, 148 ov., 14.1.1979, opiskelija, TKK, Materiaalitekniikka, os., anne.pallaskallio@hut.fi, Maskuntie 5 A 9, 00280 HELSINKI jaosto: met

Palmu, Petri Tauno Antero, DI, LT, 10.3.1960, sulaton päällikkö, Ruukki Stångproduktion, petri.palmu@ruukki.com, Ruukki/Fundia Special Bar, SE-77780 SMEDJEBACKEN Sweden jaosto: met

Palosaari, Mikko Tapio, 164,5 ov., 24.1.1979, opiskelija, OY, Konetekniikka, os., mtpalos@palkki.oulu.fi, Vainiotie 22-24 A 4, 95420 TORNIO jaosto: met

## Uutta jäsenistä

Luukkonen, Kimmo  
Manager of Mine Operations  
Cayeli Bakir Isletmeleri A.S.  
Isletme P.K. 42 Cayeli / Rize  
53200 TURKEY  
[Luukkonenk@cayelibakir.com](mailto:Luukkonenk@cayelibakir.com)

# PALVELUHAKEMISTO

**Weir Minerals**  
First Choice  
for process efficiency

- Slurry-pumput
- Syklonit
- Slurry-venttiilit
- Myllyvuoraukset

**Weir Warman Oy**  
Ahmolankatu 17 B  
19110 Peltola  
Finland  
Tel. +358 (0)2 877 250  
Fax. +358 (0)2 811 310  
www.weirminerals.com  
http://www.warmanfinland.com

**WEIR**  
www.weir.com

ABB PUMPS Belpump Breda CANTON CRIPPS In-Situ Water Control

## Lietepumput Suodattimet Muut rikastuskoneet



Metso Minerals Finland Oy Ab  
Kärkikuja 2, 01740 Vantaa  
Puh. 020 4845 300, fax 020 4845 319

**normet**  
Teolliset nosturit ja kuljetus

- nostaa
- ruiskuttaa
- kuljettaa

**normet**  
Normet Oy  
Ahmolantie 6, 74510 Peltosalmi  
Puh. 017-83 241 fax 017-823 606  
info@normet.fi www.normet.fi

*Syväkairauksen ammattilainen*



**OY KATI AB**  
Sievintie 286, 85160 Rautio  
puh. (08) 469 4500  
fax (08) 465 615  
www.oykatiab.com

*Timantintarkkaa kokonaispalvelua*

Palvelemme ja suoritamme geoalan tutkimusta  
kentällä ja ajanmukaisissa laboratorioissamme.  
**Geologian tutkimuskeskus**

Betonimiehenkuja 4 Puh. 020 550 11  
02150 ESPOO Fax. 020 550 12



Linde Gas } **AGA**

Oy AGA Ab, puh. 010 2421, faksi 010 242 0514, www.aga.fi

**YIT** Osaava kallionrakentaja [www.yit.fi](http://www.yit.fi)

**YIT RAKENNUS OY**  
Kalliorakentaminen  
PL 36 (Panuntie 11), 00621 HELSINKI  
Puhelin 020 433 111, Faksi 020 433 3747

## materia

Yhdistyksen internet-sivun osoite:  
[www.vuorimiesyhdistys.fi](http://www.vuorimiesyhdistys.fi)  
Materia-lehti myös yhdistyksen verkkosivuilla





## Vain *brändi* on pyhää

*Siis digitaaliorjinnan ja puoluepolitiikan hamlettimäinen ykköskysymys: Nollako vai eikö nolla?*

**Siis** mittaavat muutamat tiedotusvälineet, valtakunnan päälehti etunenässä säännöllisin väliajoin johtavien poliitikkojen kuten Halosen ja Vanhasen kansansuosiota ja on moinen mittaaminen selvää pelletystä. Huvittaisi nimittäin tietää millä riivatun eväillä ja kriteereillä 85 - 93 % suomalaisesta tuulipukukansasta katsoo voivansa arvioida jonkun pääministerin tai pressan selviytyneen tehtävästään vähintään melko hyvin. Paitsi että hallitus keväällä laski viinan hintaa. Siis mitä kuvittelevat porukat isokenkäisten tehneen suuntaan tai toiseen jotta joku arvostelu olisi perusteltavissa? Muuta kuin esittäneen turvallisen oloisella turpavärkillä jotain jämäptiltä kuulostavaa. Puhumattakaan että varsinkaan kun ei tee mitään, niin ei ainakaan saa kenenkään kiukkuja kimppuunsa. Ja mitähän hyvin merkittäviä ja kauaskantoisia valtiomiesmiestekoja, lukuun ottamatta maamiinojen vastaista taistelua Halonen on tehnyt että hänet joulukuussa kansanäänestyksessä noteerattiin neljänneksi suurimaksi suomalaiseksi kautta aikojen.

**Siis** ulkoistettiin ensin firmojen työntekijöiden asuin- ja työpaikkakaruokailu. Sitten siivous, vartiointi, kuljetukset, kunnossapito, liikekiinteistöt ja työterveyspalvelut. Komponenttutuotanto on jo pitkään ollut ulkoistettuna alihankkijoille ja nyt ollaan ulkoistamassa perustuotantoa halpamaihin. Seuraavaksi ovat lähdeissä taloushallinnon toiminnot ja tämän jälkeen todennäköisesti kaupalliset hommat. Markkinointi on jo nyt kokonaiskonseptin hallitsevan mediatalon hoteissa. Ostoa ja myynti voidaan ulkoistaa kansainvälisille kauppataloille. Omistajat on

ulkoistettu jo hyvissä ajoin pistämällä firma pörssiin. Omistajaa, eli keskimäärin iowalaista hammaslääkärää, joka ei edes tiedä omistuksestaan Suomessa, edustaa joku sijoitusrahaston lähinnä itseään edustava "hallitusammattilainen", jolle firman pitkäntähtäimen etu on nollan arvoista. Ainoa, mikä vielä olisi ulkoistettavissa on johto, mikä sekään ei ole ongelma: Käytetään päätöksesuhteisia vuokrajohtajia. Ja kilpailutetaan kaikki palvelut, johto ja omistus mukaan luettuna määräajoin. Viimemainitusta huolehtii päivittäin osakepörssi. Eli kohta ei firmasta ole jäljellä enää mitään konkreettista. On ainoastaan BRÄNDI.

**Siis** tulimme taas kerran täyttäneeksi vuosikiintiömme ja matkustaneeksi matkabudjetin loppuun. Ja vahoo Finski jälleen kerran: Tunnusomaisia nykypäihteitä kuluneelta vuodelta businessihmisten paikastatoiseensiirtämisläiketoiminnassa: 1) Sen biomassan koostumusta, mitä lennoilla ravinteina tarjotaan, on nykyisin lähes joka kerta tiedusteltava erikseen, koska säästävyyssyyssyistä se on jätetty ilmoittamatta kirjallisesti. Siis olisi jotenkin kiinnostavaa tietää ennen leipälävestä sisään-syöttöä, mitä on piilotettu vaihtelevan värisen kierrätysalumiinista prässätyn kalvon alle, ennen kuin oletettu "lämmi" ruoka paljastaa todellisen karvansa. Ja, 2) on ko. lentoyhtiön lennon aikana toimittamaan informaatioon lisätty n. puolen tunnin jakso matkustamon monitorien täydeltä pursuavaa käsittämätöntä Simpsons-mössöä, joka ääliömäisyydessään korkeintaan jaksaa kiinnostaa tätä matkustavaista konsultti- ja analyttikojoukkoa, keskim. 27 v,

tiedättehän tätä porukkaa, joka 20 kk:n (ei vuoden) syvällisellä kokemuksella pystyy todistamaan, että 500 ihmisen ulosheittäminen voittoa tuottavasta firmasta, joka jakaa siljoonan osinkoina ja optioina muutamalla johtajalle, on nykypäivänä kansantalouden kannalta välttämätöntä. Siis olisi parempi ko. periamerikkalaisen roskan sijasta olla näyttämättä yhtään mitään, niin voisi tuonkin ajan keskittyä vaikka luovaan ajatteluun ilman silmälapputa.

**Siis** perustuu taistelun voitto sodassa laskentaan eikä romantisoituun svendufvamaiseen rohkeuteen. Ja ovat häviöitä ne, jotka joko häviävät laskelmille tai laskevat väärin. Sodan voittamiseksi on lisäksi osattava laskea mikä on vastapuolen kansan moraalit. Se ei välttämättä ole matemaattisin keinoin selvitettävissä. Ja voisi tähän lainata entisen k-linjaministerin legendaarista lausumaa *Virheitä sattuu kaikille tekipä niitä kuka hyvänsä*. Eräissä meneillään olevassa kähinnässä useampia kuin yhden moka on tehnyt ainakin Ykä Tuplavee Bush.

**Siis** on tämä teleoperaattoreiden viimeisin markkinointikikka 'ladata ilmaista puhe-aikaa' varsinaista vanhan puuron uudelleen lämmittämistä.. Sil-lä on Tosikoiden kokemuksen mukaan keksintö ollut käytössä jo viimeiset noin keskimäärin 35 vuotta. Ladattiin nimittäin silloin tiettyihin heittä lähellä oleviin naishenkilöihin ilmaista puhe-aikaa vähintään riittävästi, kun he papin kysymykseen tuolloin vastasivat "Tahdon".**▲▲**

JT

# Tuttujen merkkien takana tutut ammattilaiset



Sandvik Mining and Construction Finland Oy eli tuttavallisemmin SMC Finland on yhteinen nimittäjä kaivos- ja maanrakennusalan arvostetuimmille tuotemerkeille sekä koneiden toimintavarmuutta tukeville huolto-, varaosa- ja asiantuntijapalveluille. Meiltä asiakas saa tukevan perustan tuottavalle toiminnalle.

Avolouhintaan, maanalaiseen louhintaan, maainesten lastaukseen ja kuljetukseen, erilaiseen poraukseen, murskaukseen ja seulontaan, kaikkeen löydämme tuotevalikoimastamme ratkaisun. Pidämme leuat liikkeessä, terät iskussa, porat ja pyörät pyörimässä.



Riittää kun muistat  
yhden osoitteen.

Sandvik Mining and Construction Finland Oy

Sandvik Mining and Construction Finland Oy, PL 100, 33311 Tampere  
Puh. 0 205 44 4600, fax 0 205 44 4601, [www.sandviktamrock.fi](http://www.sandviktamrock.fi)



# Metso Minerals Finland

Metso Minerals on kiven ja mineraalien käsittelyjärjestelmien sekä metallien ja rakennusmateriaalien kierrätysjärjestelmien maailmanlaajuinen markkinajohtaja. Asiakkaittemme liiketoiminnan sujumisen varmistamme koko Suomen kattavilla kulutusosa-, varaosa- ja huoltopalveluilla.



## Liiketoimintalinjat

### Murskaus ja seulonta

**Nordberg:** Murskaimet, seulat, syöttimet, murskauslaitokset, kuljettimet, murskainten ja seulojen kulutus- ja varaosat

### Kierrätys

**Lindemann:** Mineraalien ja metallien kierrätysjärjestelmät ja -laitteet

### Mineraalien käsittely

**Metso:** Mineraalien käsittely- ja rikastuslaitteet

### Kulutussuojat ja kuljetinhihnat

**Trellex:** Seulaverkot, kulutuskumielementit, kuljetinhihnat ja komponentit sekä asennuspalvelut

Metso Minerals Finland

Tampere puh.02048 4142  
Tampere Kalkku puh.02048 45200  
Vantaa puh.02048 45300

