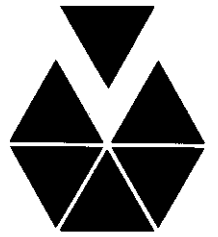
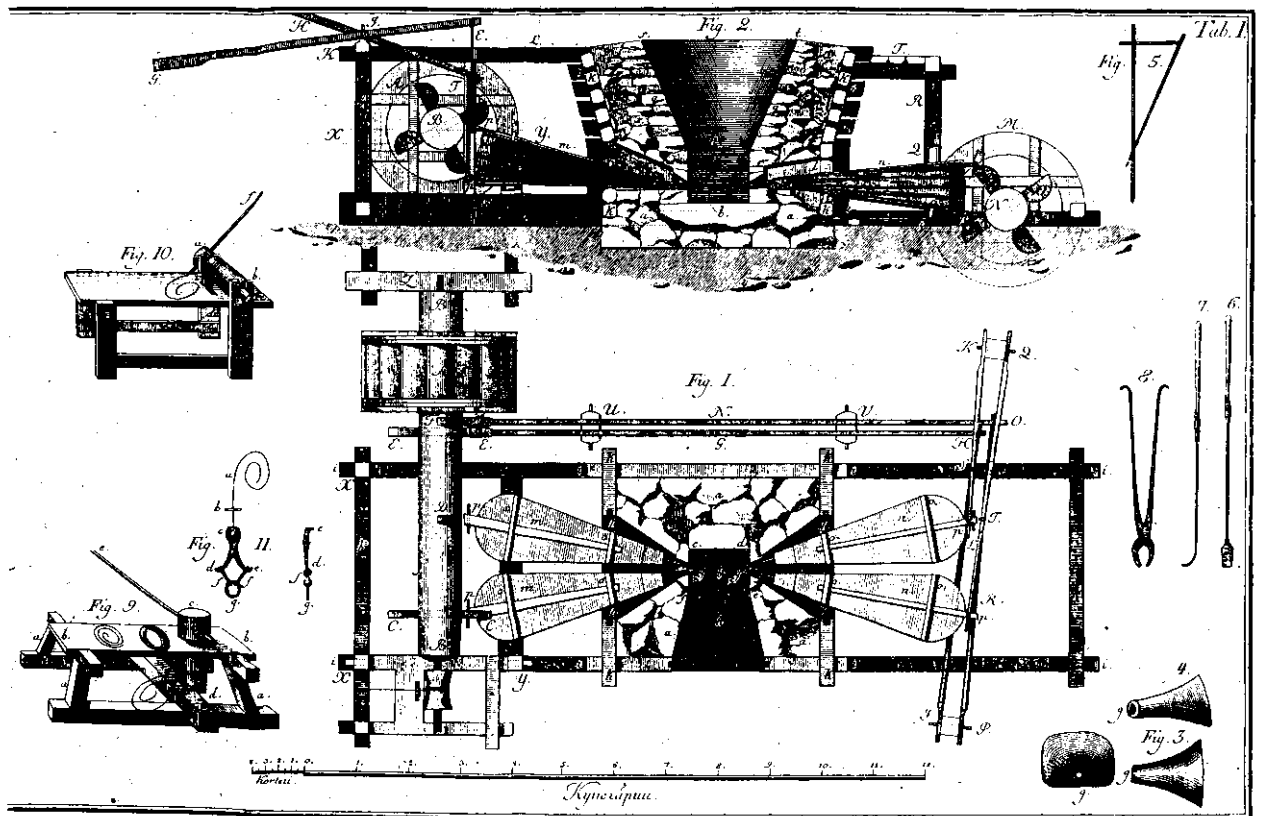


# VUORITEOLLISUUS BERGSHANTERINGEN



N:o 2 1992  
50. vuosikerta

Julkaisija: Vuorimiesyhdistys — Bergsmannaföreningen r.y.



Asiakkaamme - maailman johtavat metallintuottajat -  
ovat valinneet meidät teknologiatoimittajakseen.

Meillä on

- monipuoliset palvelut
  - huipputason teknologia nyt ja tulevaisuudessa
  - markkinajohtajuus liekkisulatus- ja ferroseosteknologian, jatkuvavalu- ja anodivalulaitteiden, Conform-tekniikan sekä elektrolyyttien mekaniikkalaitteiden toimittajana
- 
- tukenamme koko Outokumpu-konsernin laaja kokemus metallien tuotannosta sekä mittavat tutkimusresurssit
  - 30 vuoden kokemus kansainvälisistä projekteista
  - alan parhaat asiantuntijat

 **outokumpu engineering**

- Outokumpu Engineering Oy
- Outokumpu Engineering Contractors Oy
- Outokumpu Engineering Services Oy
- Outokumpu Castform Oy
- Wenmec Systems Oy



# El Grupo Nordberg En La America Latina



Arenera Mexicana S.A. de C.V., México - producción de agregados

En Chile, Perú, y Bolivia, donde la industria minera es la columna vertebral de la economía, los clientes exigen la maquinaria de trituración más confiable y los fabricantes tienen que suministrar servicios óptimos de post-venta.



Secretaría de Negocios do Oeste, Brasil - producción de agregados

En otros países, como México y Brasil, los contratistas implicados en el desarrollo de infraestructura necesitan un fabricante de equipos experimentado, que comprenda las exigencias económicas y las oportunidades que ellos enfrentan.



Compañía Minera Ojos del Salado S.A., Chile - instalación minera

Cuando la América Latina busca un socio que ofrezca la combinación idónea de equipos y pericia, se dirige al Grupo Nordberg.

Porque si Ud. está en el negocio de la trituración, no hay nadie en el mundo que le preste mejor servicio.

<b>Bergeaud S.A., Francia</b> Fax: + 33-85-396 298	<b>Nordberg Australia Pty. Ltd.</b> Fax: + 61-2-638 2540	<b>Nordberg GmbH, Alemania</b> Fax: + 49-6078 8581
<b>Bergeaud Italia s.r.l.</b> Fax: + 39-2-5560 0655	<b>Nordberg, Austria</b> Fax: + 43-7617 2208	<b>Nordberg Nippon K.K., Japón</b> Fax: + 81-3-3737 3315
<b>Bergeaud Portugal Lda.</b> Fax: + 351-1-439 0689	<b>Nordberg Industrial Ltda., Brasil</b> Fax: + 55-31-621 1912	<b>Nordberg Philippines Inc.</b> Fax: + 63-2-816 0491
<b>Bergeaud España S.A.</b> Fax: + 34-1-870 3526	<b>Nordberg Machinery Ltd., Canadá</b> Fax: + 1-519-821 4376	<b>Nordberg Singapore Pte. Ltd.</b> Fax: + 65-468 2151
<b>Lokomo Oy, Finlandia</b> Fax: + 358-31-501 207	<b>Nordberg Corporation (Chile)</b> Fax: + 56-2-231 7296	<b>Nordberg (UK) Ltd. Gran Bretaña</b> Fax: + 44-81-574 1057
<b>Lokomo A/S, Noruega</b> Fax: + 47-34-704 22	<b>Nordberg China Ltd., Hong Kong</b> Fax: + 852-603 0635	<b>Nordberg Inc., EUA</b> Fax: + 1-414-747 1766
<b>Lokomo AB, Suecia</b> Fax: + 46-8-626 8660		

Para más información, dirijase a:  
Nordberg Group • P.O. Box 203 • 00171 Helsinki • Finlandia  
Teléfono: +358 0-182 851 • Fax +358 0-608 617

**Nordberg**  
GROUP

Dondequiera que esté, hay una compañía del Grupo Nordberg para servirlo.

**Bergeaud Lokomo Nordberg**





“When you get right down to it,  
we provide shapes and formulations.  
That’s our business and  
we take it seriously.”

— Ilpo Koppinen, Director of R&D, Outokumpu Copper

The Outokumpu Copper Group devotes over 1.5% of its added value to research and development activities. We have tackled many demanding R&D projects on copper and copper alloys over the past 50 years, because to a large extent the innovation we provide becomes part of our customers’ technological advantage.

The Outokumpu Copper Group is the world’s second largest manufacturer of semi-finished copper products. Annual production volume for the Group is about

450,000 tons, with product lines ranging from high-volume products such as sanitary tube, brass rod, and rolled sheet to high-tech specialty items such as superconducting wire, waveguides, electrostrip, and copper and brass radiator strip.

Outokumpu Copper has manufacturing facilities in Finland, Sweden, the Netherlands, Spain, and the USA. The Group posted net sales for 1991 of FIM 5.6 billion (US\$ 1.4 billion), and employs 7,100 people.

For more information, please write, call, or fax:

 **outokumpu copper**

Head Office

Outokumpu Copper Oy  
Corporate Communications  
P.O. Box 144

SF-02201 Espoo, Finland  
Phone + 358 0 4211  
Fax + 358 0 452 2140

**Marketing Subsidiaries**

Brussels, Belgium  
Brøndby, Denmark  
Paris, France  
Frankfurt, Germany

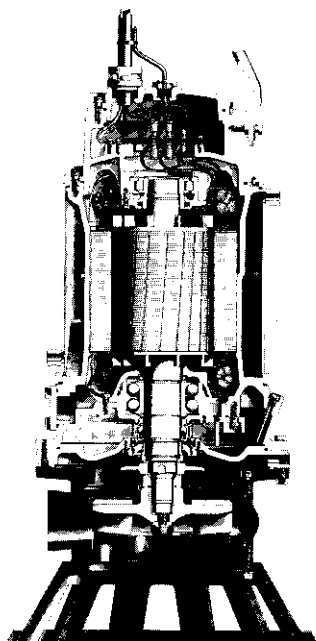
Düsseldorf, Germany  
Milan, Italy  
Tokyo, Japan  
Gjettum, Norway  
Porto, Portugal

Madrid, Spain  
Winterthur, Switzerland  
Singapore  
London, UK  
Chicago, USA  
Moscow, Russia



# SALA

## PUMPUT JA EROTTIMET TEOLLISUUDELLE

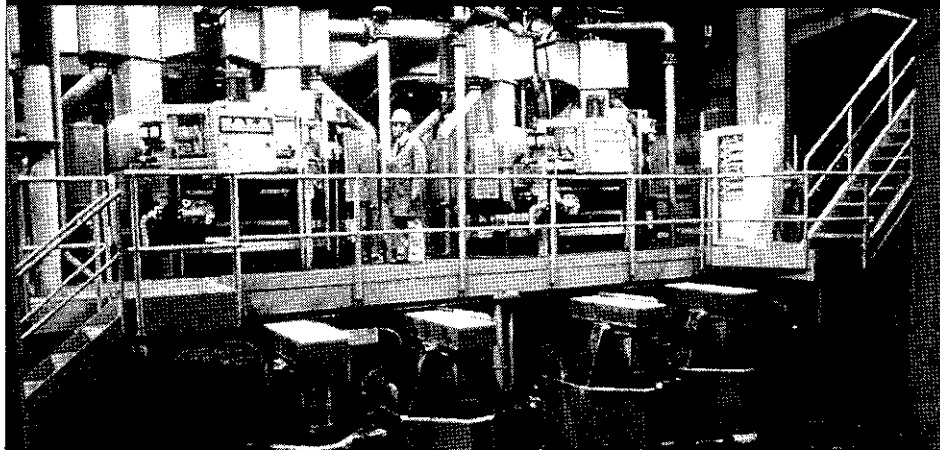


### VASA GD - uppoppumppu

- Täysin upotettava
- Suunniteltu erityisesti kuluttavien lietteiden pumppaukseen
- Kulutusosat ovat kovakromivalua
- Vaihtoehtoisesti saatavana myös kumi- tai polyuretaanipinnoitteisia osia
- Moottoriteho 5,9 – 160 kW
- Paineaukkojen koot 80 – 250 mm
- Toimitetaan suljetulla tai puoliaivoimella juoksupyörällä
- Lisälaitteena imupuolen sekoitin karkeiden lietteiden pumppaukseen ja ruoppaukseen

Svedala-ryhmään kuuluva Sala International AB valmistaa mineraalien rikastusprosesseissa käytettäviä jauhatusmyllyjä, luokitussyklooneja, erilaisia erottimia, suodattimia, lietepumppuja ym. Suomessa Salan tuotteiden maahantuonnin ja myynnin hoitaa myös Svedala-ryhmään kuuluva Oy Rolac Ab.

## SALA HGMS® - magneettierottimet



SALA HGMS® korkeagradienttimagneettierottimet pystyvät erottamaan hyvin heikkomagneettisia (paramagneettisia) partikkeleita.

### SOVELLUTUSESIMERKKEJÄ Mineraaliteollisuus

- Hematiitti-, kromiitti- ja mangaanimalmien rikastus
- Kaoliinin, lasihiekan, maasälvän, baryytin, vollastoniitin ym. teollisuusmineraalien puhdistus
- Kuparikiisun ja sinkkivälkeen erotus molybdeenisulfidista ja lyijyhohdeesta
- Tuhka- ja rikkipitoisuuden vähentä-

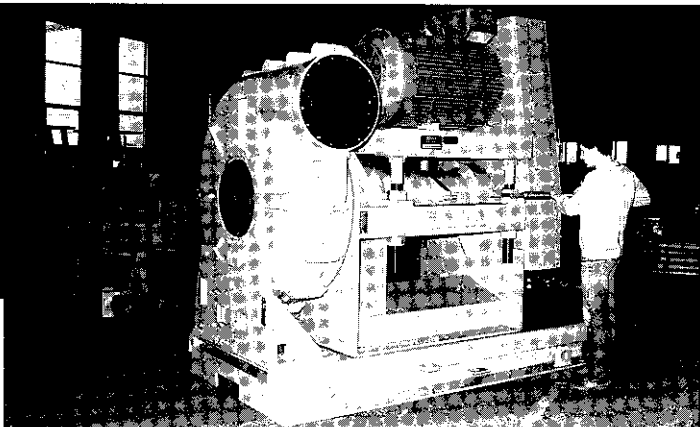
- minen hiilestä
- Fosfaatin ja apatiitin puhdistus

### Valmistava teollisuus ja voimalaitokset

- Lauhdevesien puhdistus atomi- ja hiilivoimalaitoksissa sekä puunjalostusteollisuudessa
- Terästehtaiden prosessi- ja jätevesien puhdistus
- Voiteluaineiden puhdistus kuluttavista partikkeleista
- Veden puhdistus kuten esim. kaukolämpöverkoston kierrätysveden puhdistus korroosiopartikkeleista

## VASA HD-pumput erityisen kuluttavien lietteiden pumppaukseen.

Juoksupyörän halkaisija on suuri ja pumppu toimii tämän ansiosta pienillä kierroksilla, jolloin osat kestävät pitkään. HD-pumppujen kulutuskestävyys ja korkea hyötysuhde takaavat alhaiset käyttökustannukset.



# ROLAC

MEMBER OF THE SVEDALA GROUP

OY ROLAC AB  
Salmitie 4, 02430 Masala  
Puh. (90) 297 6122, fax (90) 297 5587

# JA-RO — THE STAINLESS EXPERTS



■ Complete range of welded tubes, pipes and fittings in stainless steel grades.

■ Täydellinen ohjelma hitsattuja ruostumattomia putkia ja putkenosia.

■ Ett komplett sortiment av svetsade rostfria rör och rördelar.

**Oy JA-RO Ab**

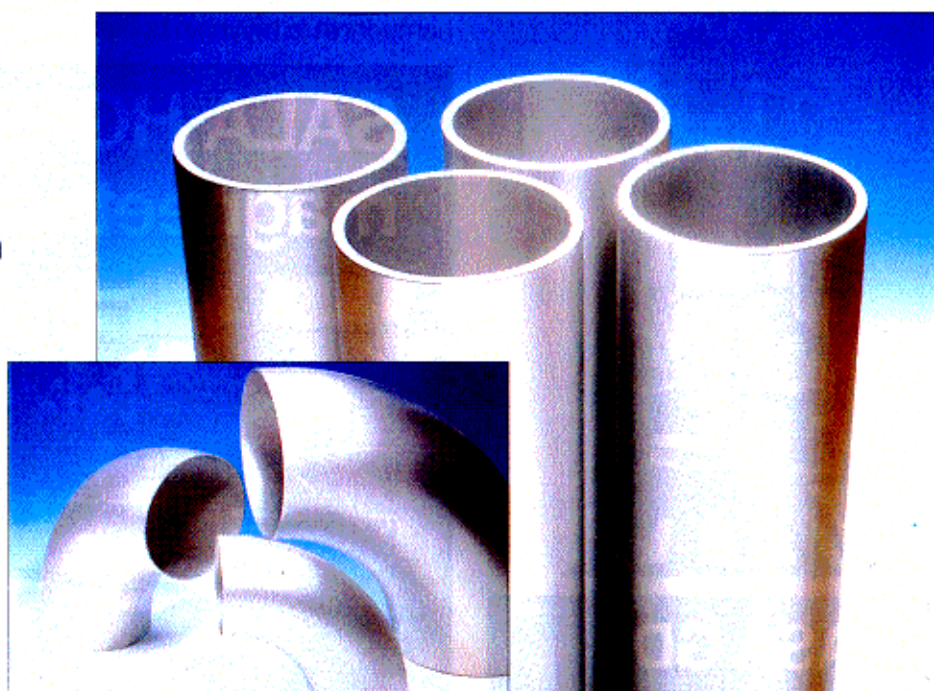
P.O.Box 15

SF-68601 Pietarsaari

FINLAND

Tel +358-67-7865111

Fax +358-67-7865222



## NORDKALK

Partek Minerals -yhtiö

KALKKITUOTTEITA m.m.

- terästeollisuudelle
- puunjalostusteollisuudelle
- vedenkäsittelyyn
- rakennusaineteollisuudelle
- maanparannukseen
- ympäristönsuojeluun

Nordkalk Oy Ab	Nordkalk Oy Ab	Louhen Kalkki Oy	Nordkalk Oy Ab
21600 Parainen	53500 Lappeenranta	57100 Savonlinna	08100 Lohja
Puh 921-742 111	Puh 953-510 111	Puh. 957-254 151	Puh. 912-4511
Telex 62220 pkpar sf	Telex 58216 pkor sf	Telefax 957-254 229	Telex 1511 lkvi sf
Telefax 921-3742 340	Telefax 953-52 096		Telefax 912-451 740



## VIHTAVUORI OY

LOUHINTATARVIKKEET

**RÄJÄHDYSAINEEET**

STONEX (dynamiitti)  
SILOSEX  
SILOSEX-10  
ANEX (aniitti)  
AMONEX N (ammoniitti N)  
AMONEX K (ammoniitti K)  
KEMIITTI 110  
KEMIITTI 510  
MENOX 110 (räjätin 110)

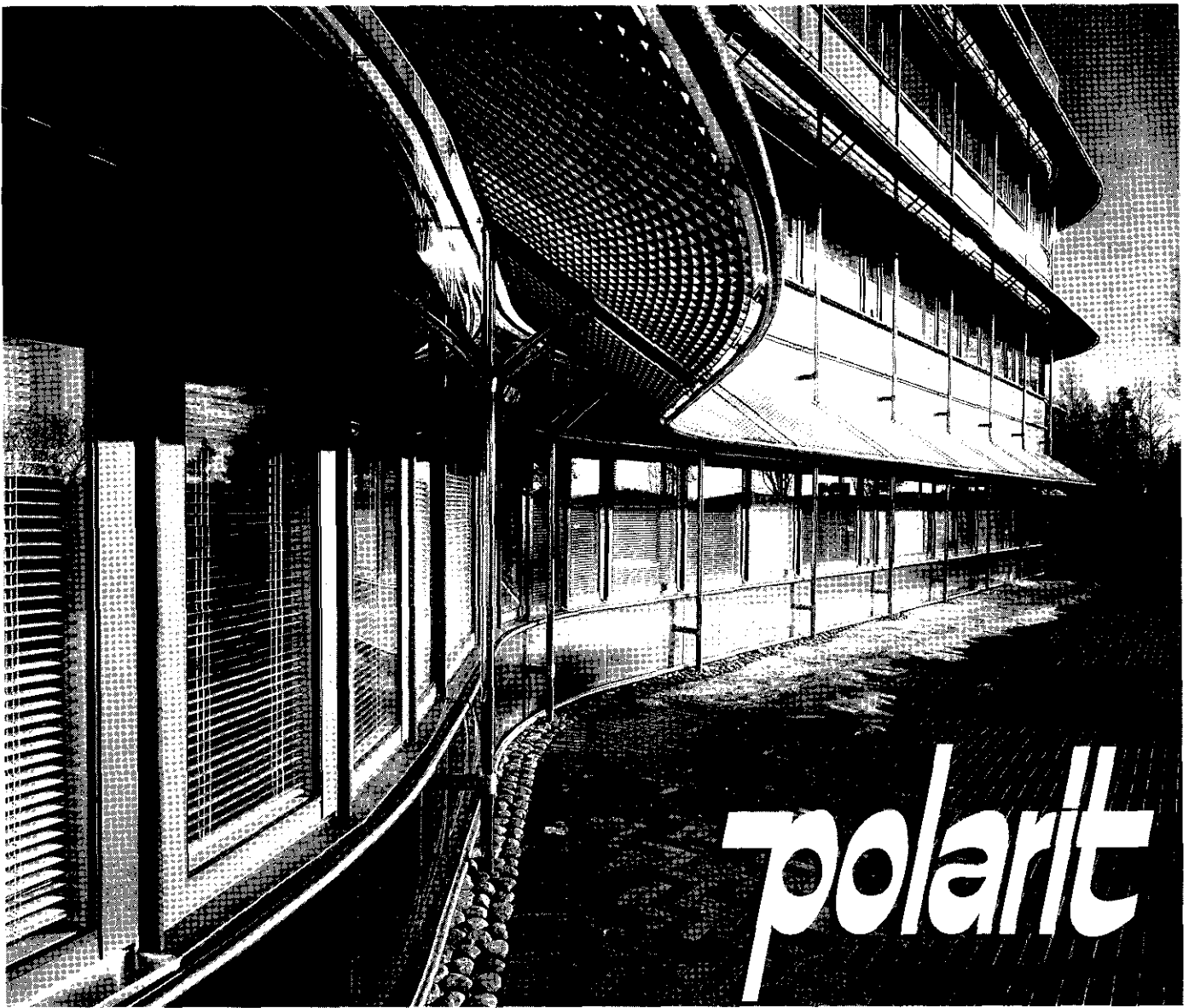
**SYTYTYSTARVIKKEET**

FIREX-VA-sähköallit  
FIREX-UR-sähköallit  
FIREX-8 (tulilankanalli)  
ISOLTEX 10 (räjähtävätulilanka)  
RL 06 JA RLE 06 jatkojohdot

Postiosoite:  
VIHTAVUORI Oy  
Louhintatarvikeyksikkö  
41330 Vihtavuori

Puhelin: 94-779211  
Telefax: 94-771093





## TULEVAISUUS RAKENNETAAN JALOTERÄKSESTÄ.

Polarit -jaloteräs on loistokas rakennusmateriaali. Se soveltuu erinomaisesti sekä julkiseen että yksityiseen rakentamiseen.

Ulkoseininä ja kattoina jaloteräs kestää erinomaisesti kaikissa ilmastoissa ja on käyttökustannuksiltaan edullinen. Teräs mukautuu notkeasti arkkitehdin tahtoon. Jaloteräs on kestävä, helppohoitoinen ja kaunis materiaali sisustamiseen. Monet perinteiset materiaalit voidaan korvata modernisti teräksellä.

Suomalaiset ovat jo nyt maailman edelläkävijöitä jaloteräksen käyttäjinä. Uusia käyttökohteita avautuu jatkuvasti. Tulevaisuuden laatu rakennetaan Polarit -jaloteräksestä.

**outokumpu polarit**

95400 TORNIO, puhelin 9698-4521,  
telefax 9698-452620, telex 3518 OKTO SF

**Polarit  
-jaloterästä  
myyvät  
Suomessa:**

**ASPO OY**  
PL 14,  
Suolakivenkatu 10  
00811 HELSINKI  
puh. (90) 75951  
fax (90) 788040  
telex 121301

**KESKOMETALLI OY**  
PL 431  
Läntinen Pitkäkatu 31-35  
20101 TURKU  
puh. (921) 607111  
fax (921) 500745  
telex 1021513

**VALTAMERI OSAKEYHTIÖ**  
PL 21, Pakilantie 61  
00661 HELSINKI  
puh. (90) 75471  
fax (90) 7547261  
telex 124449



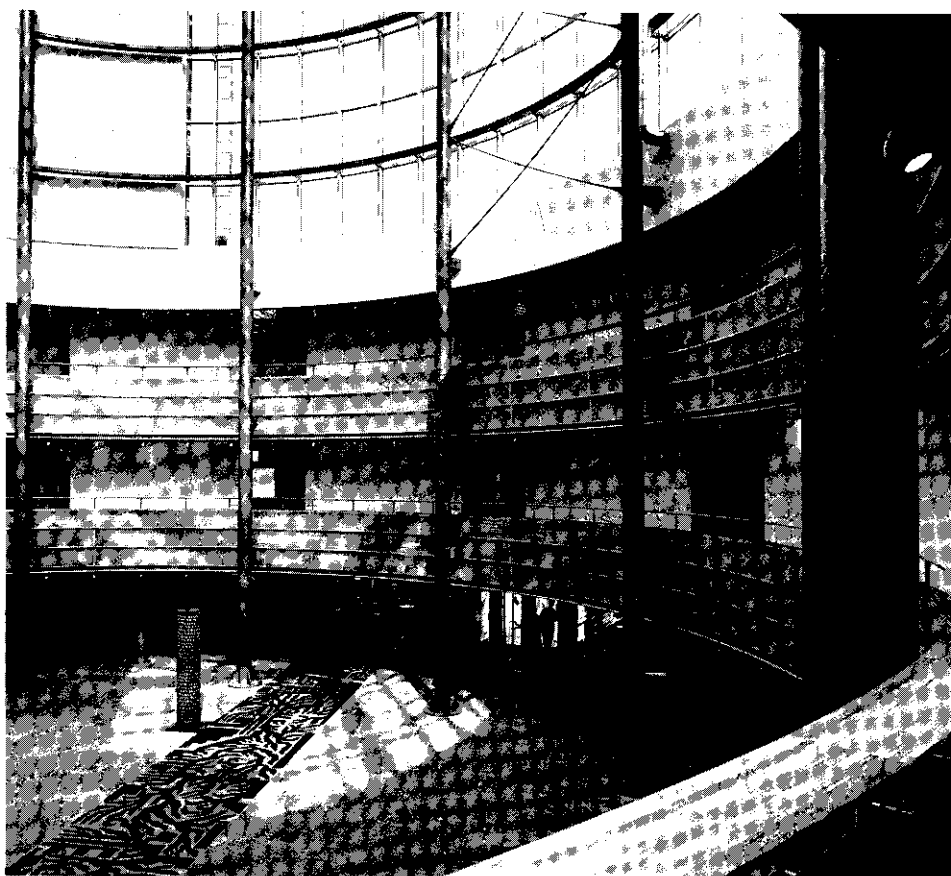
**H**uipputeknologia luo uutta. Sen kehittäminen vaatii vastaavat puitteet. Modernin ja innostavan työympäristön. Innopoli Espoon Otaniemessä on lähes sadan korkean teknologian yrityksen yhteistyöfoorumi, josta Rautaruukin teräs teki ainutlaatuisen. Muotoiltavuudellaan. Muunneltavuudellaan. Näyttävyydellään. Ainutlaa-

# Rakentamisen uusia muotoja luodaan Rautaruukin teräksellä. Kuten Innopolissa.

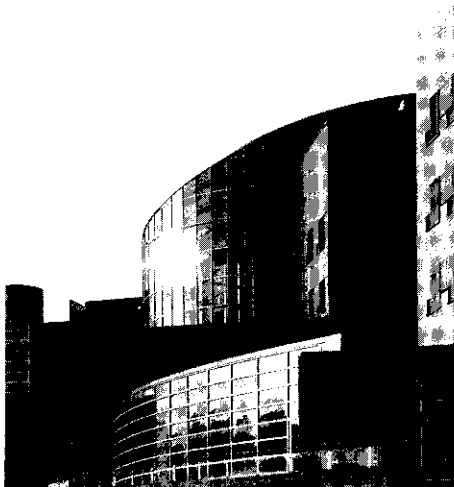
tuista on myös teräsrakentamisen nopeus, joka säästää rakennusaikaisia kustannuksia merkittävästi.

Rautaruukki on Suomen ylivoimaisesti suurin teräksen valmistaja. Rautaruukki on myös kansainvälistynyt yritys. Sen liikevaihdosta yli 60 % tulee viennistä ja tuotannosta ulkomailla. Tuotantoa on viidessä maassa Euroopassa ja asiakkaita maailman suurimmasta autonvalmistajasta Lähi-idän vedenottolaitoksiin.

Rautaruukin terästuotannon jalostusaste on alansa huippua maailmassa. Konserni valmistaa kuuma- ja kylmävalssattuja teräslevyjä, kuumasinkittyjä ja muovipinoitettuja levyjä, putkia, putkipalkkeja, kylmämuovattuja avoprofiileja ja rakentamisen komponentteja. Rautaruukilla on myös omaa konepajateollisuutta. Konsernin kehittämä teknologia ja tekninen osaaminen on kysyttyä maailmalla. Rautaruukki on terästä.



*Innopolin runkorakenne on terästä, samoin kuin kaiteet, portaat, pylväät ja monet muut yksityiskohdat, joiden muotoilun teräksen joustavuus ja mittatarkkuus teki mahdolliseksi. Myös talon akustiikka on erinomainen.*



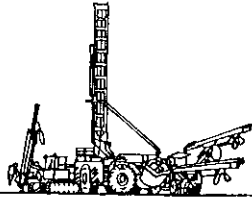
*Innopolin teknologiakeskukselle myönnettiin vuoden 1991 teräsrakennepalkinto. Arkkitehti Kaarina Löfström suunnitteli Innopolin.*

Lisätietoja:  
Rautaruukki/Helsinki, Fredrikinkatu 51-53,  
PL 860, 00101 Helsinki,  
puh. (90) 68 081, telefax (90) 680 8288.

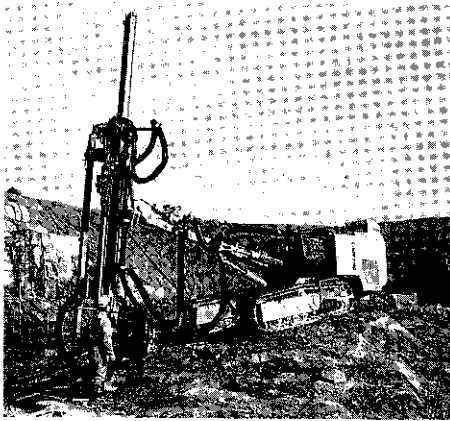


**RAUTARUUKKI**  
TULEVAISUUS ON TERÄSTÄ



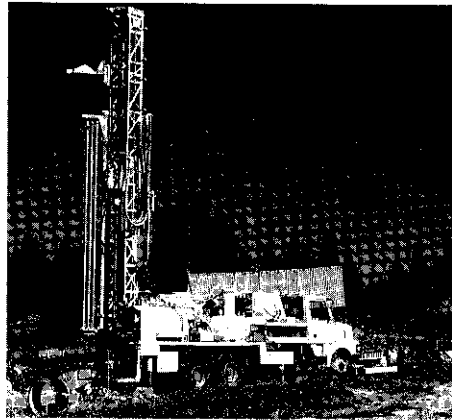


# KIVEN JA KALLION LOUHINTAAN



## TAMROCK SURFACE

- avolouhintaporauslaitteet
- hyötykiven porauslaitteet



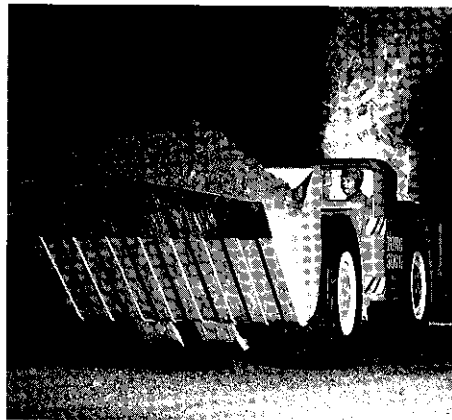
## TAMROCK ROTARY

- kiertoporauslaitteet
- kaivonporauslaitteet



## TAMROCK UNDERGROUND

- tunnelin- ja peränajolaitteet
- tuotantolouhintaporauslaitteet
- pultitus- ja rusnauslaitteet
- nousuporauslaitteet



## TAMROCK LOADERS

- maanalaiset louheen lastaus- ja siirtolaitteet

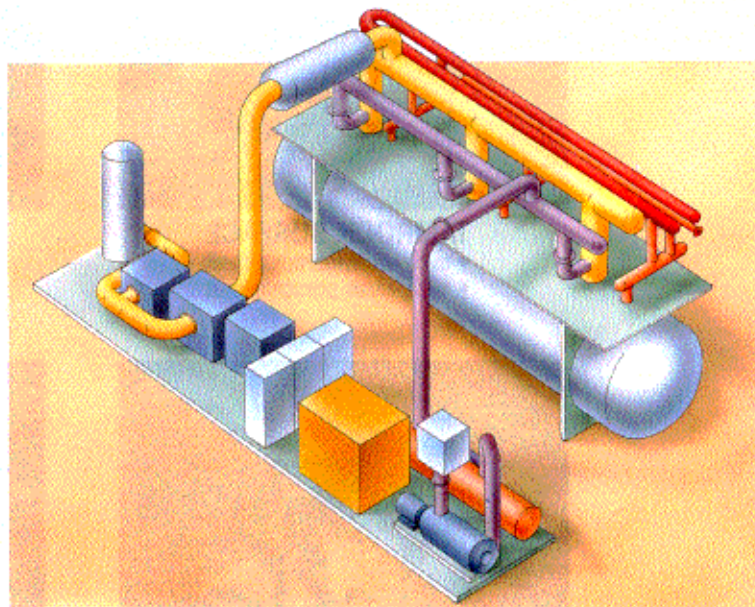
# TAMROCK

TAMROCK OY  
PL 279, SF 33101 TAMPERE  
Puh. 931 241 4111, Fax 931-241 4849  
Tlx 22193 rock sf

# JOHTAVAA TEKNOLOGIAA HAPEN VALMISTUKSESSA VSA-MENETELMÄLLÄ

RAUMA ECOPLANNING OY toimittaa hapen valmistuslaitoksia VSA-menetelmään (Vacuum Swing Adsorption) perustuen yhteistyössä Air Products PLC:n kanssa. VSA-laitoksen tuottama happi soveltuu monenlaiseen käyttöön prosesseissa

- sellu- ja paperiteollisuudessa
- metallurgisessa teollisuudessa
- kemian teollisuudessa
- petrokemian teollisuudessa
- jätevesien käsittelyssä



VSA-laitoksen edut:

- hapen valmistus paikanpäällä
- alhaisin hapen valmistuskustannus
- ei tarvita omaa käyttöhenkilökuntaa
- seuraa joustavasti hapenkulutustarvetta
- välitön hapen tuottokyky ylösajossa
- ylläpitotarve vaatimatonta

REFERENSSIT:

LEYKAM-MÜRZTALER, CHAPPARAL STEEL,  
ALABAMA RIVER NEWSPRINT, ALABAMA  
PINE PULP, WESTERN PAPER AND PULP

## RAUMA EcoPlanning

Tuomo Tuori    Manager  
Oxygen plants

PL 78  
28101 Pori

Puh.  
939-825 160

Telefax  
939-336 814

Telex  
66131 rlewm sf



# VUORITEOLLISUUS BERGSHANTERINGEN



N:o 2 1992  
50. vuosikerta

Julkaisija, utgivare:  
VUORIMIESYHDISTYS —  
BERGSMANNAFÖRENINGEN r.y.

Publisher:  
THE FINNISH ASSOCIATION OF MINING AND  
METALLURGICAL ENGINEERS

## VUORITEOLLISUUS — BERGSHANTERINGEN:

Päätoimittaja — Editor-in-Chief:

Prof. Martti Sulonen 90-4511  
Teknillinen korkeakoulu Fax 90-451 2660  
Materiaali- ja kalliotekniiikan laitos  
02150 Espoo

Toimittaja — Editor:

Dos. Heikki Laapas 90-4511  
Teknillinen korkeakoulu Fax 90-451 2660  
Materiaali- ja kalliotekniiikan laitos  
02150 Espoo

Toimitussihtööri ja ilmoituspäällikkö —  
Managing Editor and Advertising Sales  
Director:

Ins. Lars Heikel 90-781 396  
Punahilkantie 5 A 6  
00820 Helsinki

Toimitusneuvosto — Editorial Board:

DI Matti Palperi, pj. 90-4511  
Teknillinen korkeakoulu  
Materiaali- ja kalliotekniiikan laitos  
02150 Espoo

TkT Jorma Rekola 90-622 1788  
Coopers & Lybrand Consulting Oy Ab  
Mannerheimintie 16 A  
00100 Helsinki

TkL Seija Sundholm 90-4511  
Teknillinen korkeakoulu  
Materiaali- ja kalliotekniiikan laitos  
02150 Espoo

FT Yrjö Pekkala 90-4693 2386  
Geologian tutkimuskeskus  
Betonimiehenkuja 4  
02150 Espoo

TkL Hans Allenius 90-4211  
Outokumpu Mintec Oy  
PL 84  
02201 Espoo

## Ilmoitushinnat vuodelle 1993

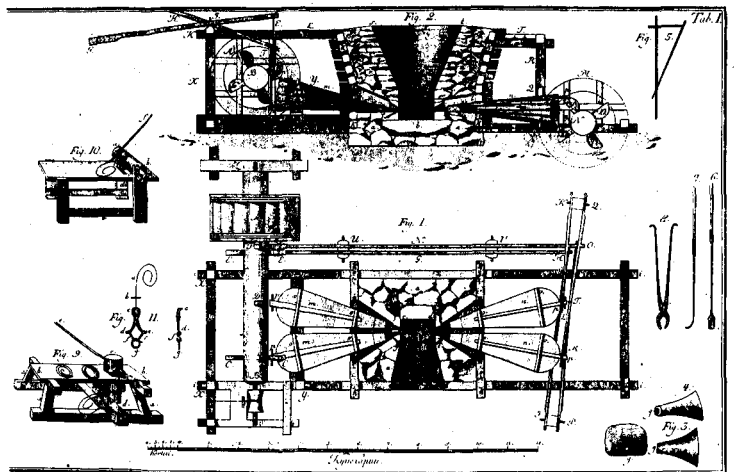
II ja III kansi	= 4.830,-	1/2-sivu	= 2.760,-
takakansi	= 5.570,-	1/4-sivu	= 1.640,-
1/1-sivu	= 4.090,-	Lisäväri/kpl	= 1.500,-

{ Ammattihakemisto-ilmoitus 1/1 vsk = 620,-  
Koko: leveys = 85 mm  $\diamond$  korkeus = 25 mm

Vuosikerta = 95,-  $\diamond$  ulkomaille = 130,-  
Irtnumero = 60,-  $\diamond$  ulkomaille = 70,-

## SISÄLTÖ ■ INNEHÅLL

<b>Jouko Talvitie:</b> Malminetsinnän näkymistä Geologian tutkimuskeskuksessa	65
<b>Risto Pellikka:</b> Ruostumattoman teräksen käsittelylaitokset Hollantiin	67
<b>Pekka A. Nurmi, Bo Johansson, Kari Kojonen:</b> Kullan esiintyminen eräissä Suomen uusissa kultamalminaiheissa	70
<b>Kauko Puustinen:</b> Strategiset mineraalit	76
<b>Lars J. Hukkinen:</b> Raudanvalmistuksen tekniikka	80
<b>Heikki Ylönen:</b> Raudanvalmistus kehittyä, uudet prosessit kolkuttavat ovella	83
<b>Esko Lundén:</b> Nordkalk, Pohjolan johtava kalkintuottaja	87
<b>Martti Sulonen:</b> 100 vuotta metallurgisen osaston perustamisesta Kuopion teollisuuskouluun	89
<b>K. A. Pishow:</b> AFM atomivoimamikroskooppi	90
Uusia jäseniä — Nya medlemmar	96
Uutta jäsenistä — Nytt om medlemmarna	96
Suoritettuja tutkintoja — Avlagda examina	97
In Memoriam	98-99
Tilastotietoja vuoriteollisuudesta v. 1991	100
VMY-BMF 50-vuotis juhlah kokouksen ohjelma	102



**Kansikuva:** Järvi- ja suomalmien sulattamiseen käytetty puhallusuuni.

**Cover:** Design of a flowing furnace for direct reduction of malleable iron.

**VUORIMIESYHDISTYKSEN HALLITUS**  
**22.3.1991**

Prof. Raimo Matikainen 90-451 2804  
puheenjohtaja Fax 90-451 2660  
Teknillinen korkeakoulu  
Materiaali- ja kallioteknikan laitos  
Vuorimiehentie 2  
02150 ESPOO

TkT Aulis Saarinen 981-327 711  
varapuheenjohtaja Fax 981-327 506  
Rautaruukki Oy  
PL 217  
90101 OULU

DI Matti Heiniö 931-241 4111  
Tamrock Oy  
PL 279  
33101 TAMPERE

DI Heikki Rusila 982-301  
Rautaruukki Oy, Raahen terästehdas  
PL 93  
92101 RAAHE

Prof. Veikko Lappalainen 90-469 3200  
Geologian tutkimuskeskus  
Betonimiehenkuja 4  
02150 ESPOO

TkL Matti Tyni 971-671 671  
Malmikaivos Oy, Luikonlahti  
73670 LUIKONLAHTI

DI Ville Sipilä 968-2811  
Outokumpu Kokkola Zinc Oy  
PL 26, 67101 KOKKOLA

TkL Hans Allenius 90-421 2849  
Outokumpu Mintec Oy  
PL 84  
02201 ESPOO

DI Eelis Eskelinen 953-510 111  
Oy Partek Ab  
53500 LAPPEENRANTA

TkL Jorma Kemppainen 9698-452 583  
Outokumpu Polarit Oy  
95400 TORNIO

DI Timo Välttilä 973-5561  
Outokumpu Mining Services  
83500 OUTOKUMPU

**Yhdistyksen sihteeri:**  
I TkT Heikki Laapas 90-451 2786  
Teknillinen korkeakoulu Fax 90-451 2660  
Materiaali- ja kallioteknikan laitos  
Vuorimiehentie 2 A  
02150 ESPOO

II DI Erkki Tyni 981-327 711  
Rautaruukki Oy Fax 981-327 506  
PL 217, 90101 OULU

**Yhdistyksen rahastonhoitaja:**  
LuK Marjatta Parkkinen 90-421 2442  
Outokumpu Oy Fax 90-421 3888  
PL 280  
02101 ESPOO

**Geologijaosto**  
FL Elias Ekdahl, puh.joht. 971-205 111  
Geologian tutkimuskeskus  
PL 1237  
70701 KUOPIO

FK Sirkku Halonen, siht. 90-462 233  
Geologian tutkimuskeskus  
Betonimiehenkuja 4  
02150 ESPOO

**Kaivosjaosto**  
DI Kimmo Kekki, puh.joht. 957-254 151  
Ruskealan Marmori Oy  
57100 SAVONLINNA

DI Tommy Grahn, siht. 90-4211  
Outokumpu Mining Oy  
PL 89  
02201 ESPOO

**Metallurgijaosto:**  
TkT Kalevi Nikkilä, puh.joht. 90-4211  
Outokumpu Engineering  
PL 86  
02201 ESPOO

TkL Lars Helle, siht. 90-4211  
Outokumpu Engineering Contractors  
PL 862  
02201 ESPOO

**Rikastus- ja prosessiteknikan jaosto**  
DI Jouko Kallioinen, puh.joht. 90-4211  
Outomec Oy  
PL 84  
02201 ESPOO

DI Jukka Karhunen, siht. 90-80471  
Kemira Oy  
Espoon tutkimuskeskus  
PL 44  
02271 ESPOO

**Tutkimusvaltuuskunta**  
DI Paavo Eerola, puh.joht. 973-5561  
Outokumpu Mining Services  
83500 OUTOKUMPU

Geologinen toimikunta:  
Prof. Heikki Niini, puh.joht. 90-451 2720  
Teknillinen korkeakoulu  
Materiaali- ja kallioteknikan laitos  
Vuorimiehentie 2 A  
02150 ESPOO

Kaivosteknillinen toimikunta:  
DI Pekka Lappalainen, puh.joht. 973-5561  
Outokumpu Mining Services  
83500 OUTOKUMPU

Rikastusteknillinen toimikunta:  
DI Jarmo Aaltonen, puh.joht. 971-400 111  
Kemira Oy  
Siilinjärven tehtaata ja kaivos  
PL 20  
71801 SIILINJÄRVI

**Tutkimusvaltuuskunnan ja sen toimikuntien**  
**sihteeri:**  
FT Jyrki Parkkinen 90-46931  
Geologian tutkimuskeskus Fax 90-462 205  
Betonimiehenkuja 4  
02150 ESPOO

# Malminetsinnän näkymistä Geologian tutkimuskeskuksessa

Professori Jouko Talvitie, Geologian tutkimuskeskus, Malmiosasto, Espoo

## TAUSTOJA, 1980-LUKU

Vuosikymmenen alkupuolisko oli Geologian tutkimuskeskuksessa (GTK) vireän operatiivisen malminetsinnän aikaa. Tulokset eivät olleet toivomusten mukaisia. Vuosikymmenen jälkipuoliskolla kehitettiin erityisesti kaivoslainsäädännön osoittamien mineraalisten raaka-aineiden ja rakennuskivien etsinnän strategista suunnittelua, niiden tieteellistä tutkimusta ja tutkimusmenetelmiä. Strateginen suunnittelu sai tukseen muunmuassa mineraalipoliittisen ohjelman, jolla priorisoitiin etsittävät raaka-aineet niiden kansalliseen huoltotaseeseen perustuen. Lisäksi seurattiin kansainvälistä raaka-aineiden kysyntää.

Malmiosaston toiminta jaettiin neljään sektoriin: 1. Metalliset malmit ja niiden etsintä, 2. Teollisuusmineraalit ja niiden etsintä (sisältää myös teollisuuskivet, rakennuskivet, koru- ja koristekivet), 3. Tieteellinen perustutkimus, 4. Integroitu analyysi ja tiedostot. Samalla purettiin mineraalisten polttoaineiden ryhmä (uraani, grafiitti), mutta ylläpidettiin IAEA- ja OECD/NEA-kontakteja ja vähäistä uraaninetsinnän menetelmäkehitystä eli valmiustilaa tulevaisuuden varalle.

Tieteellinen tutkimus tuki strategian mukaista malminetsintää, suurin panostus kohdistui kullansetsinnän perusteiden luomiseen. Menetelmäkehitys etsi apua malminetsintään ennenkaikkea integroidusta geoanalyyseistä, malmiarviotekniikasta ja tiedostokehityksestä. Metallisten malmien ja teollisuusmineraalisektoreiden ei-operatiivinen tutkimus keskittyi tuoteproblematiikkaan ja koulutukseen. Teollisuusmineraalit olivat kehittämisen erityinen painopistealue. Operatiivista malminetsintää tehostettiin toteuttamalla muunmuassa tulosvastaullisia, suurehkoja hankekokeiluita (mm. Virtasalmen kaoliiniiniprojekti, Ilomantsin kultahanke, Lounais-Suomen malmiennusteprojekti). Samalla osallistuttiin uuden organisaation valmisteluun.

## UUSI ORGANISAATIO VUONNA 1990

Geologian tutkimuskeskuksen vanha linjaorganisaatio oli ”pitkälinjainen”, osastot henkilöstöltään suuria ja toiminta tulosvastaajien mukaisesti osastokeskeistä. Se kohotti korkeat aidat osastojen väliselle yhteistyölle. Malminetsinnän kannalta olisi ollut suotavaa, että saman johdon alla toimii operatiivisena ryhmänä geologi, geofyysikko ja geokemisti.

Uudessa organisaatiossa operatiiviset toiminnot (maa- ja kallioperäkartoitus sekä maa- ja kallioperään liittyvien mineraalisten raaka-aineiden etsintä ja inventointi) siirrettiin aluetoimistoihin (Rovaniemi, Kuopio, Espoo). Niiden toiminnan koordinaatio kuuluu operatiivisen toiminnan tutkimusjohtajalle. Organisaatiomuutoksen pitäisi vauhdittaa tarkoituksenmukaisten, poikkitieteellisten projektien muodostamista. GTK:n perinteiset osastot kuuluvat keskushallintoon ja niiden toimintaa koordinoi toinen tutkimusjohtaja.

Malmiosaston henkilöstöstä 85% siirrettiin aluetoimistoihin muuten osaston sektorijako säilyi ennallaan, ja painopiste siirtyi strategiseen suunnitteluun ja tieteelliseen tutkimukseen. Yhteys aluetoimistoihin piti olla funktionaalinen ja koordinoiva. Osastolle jäi myös valtakunnallinen, kaivoslain mukainen valtausrekisterin ylläpito sekä valtion edun valvonta löydettyjen esiintymien suhteen. Malmiosasto on myös ottanut enenevästi vastuuta ulkomaille suuntautuvasta taloudellisen geologian aktiviteetista.

## TULOKSISTA

Viimeisten yli kymmenen vuoden aikana KTM on tarjonnut kaivosyhtiöille useita GTK:n löytämiä esiintymiä, joita ei kuitenkaan tällä hetkellä pidetä taloudellisesti hyödynnettävinä, mutta joita voidaan pitää kriisiajan varantoina. Tämän lisäksi yhtiöt ovat ostaneet valtausoikeudet moniin esiintymiin, joiden taloudellista hyväksikäyttöä ne ovat joko selvittäneet tai parasta aikaa selvittävät. Tällaisia esiintymiä ovat Sotkamon Talvivaaran kookas monimetalliesiintymä (Ni, Zn, Cu, S, C), Rauhalan pieni sinkki-, kupari-, lyijyiesiintymä Ylivieskassa, Pahtavaaran kultaesiintymä Sodankylässä sekä neljä Kuusamon kulta-kobolttiesiintymää. Parasta aikaa ovat myynnissä Rantasalmen kultaesiintymät ja ehkä ensivuonna myös Ilomantsin kultaesiintymät. Teollisuusmineraaleista merkittävimmät ovat Virtasalmen kaoliiniesiintymät, joista neljän valtausoikeudet ovat nyt Kemiralla. Lisäksi alueelta on paikannettu muita kaoliiniesiintymiä, joiden yksityiskohtainen tutkiminen on ehkä perusteltua aloittaa vasta sitten, kun jo luovutettujen esiintymien hyödyntämismahdollisuudet on selvitetty.

Rakennuskiviesiintymiä on etsitty ja tutkittu pääasiassa maksullisina palveluina, usein yhteistyössä kivialan yritysten kanssa. Viime vuosina tutkituista esiintymistä on tällä hetkellä kuusi joko tuotannossa, avaamisvaiheessa tai koelouhinnassa. ”Malmimanian” valistustoiminta nostatti valtavan korukiviharrastuksen kautta maan ja pientä yritystoimintaa ja alan kerhoja on virinnyt runsaasti. Näin myös mineraali- ja kivituntumusta on levitetty suuren yleisön keskuuteen.

Ensi vuoden merkittävimmät tutkimushankkeet liittyvät nikkelin, kullan, ilmeniitin ja rakennuskivien etsintään. Onnistutaanko näissä tulevilla hankkeissa, riippuu paljolti käytettävissä olevista resursseista.

Eräs malminetsinnän oleellinen resurssi on syväkairaus, sillä kallioperän peitteisyydestä johtuen vasta kairausnäytteenotto paljastaa malmiaiheen. Kairausta on kuitenkin viime vuosina jouduttu huomattavasti vähentämään, mikä taas on johtanut tunnustelukairauksista tinkimiseen eikä uusia aiheita ole saatu riittävästi inventointivaiheeseen. Kairausmäärät pitäisikin saada nostetuksi vähintään vuoden 1989 toimialarationalisointia edeltäneelle tasolle, jotta



mahdollisuudet uusien todella merkittävien esiintymien löytämiseen oleellisesti paranisivat.

## **MUUTOSPAINTEITA**

Kotimaisten kaivosten varaan kehittynyt jatkojalostus on kasvaessaan ja kaivosten ehtyessä menettänyt raaka-aineomavaraisuuttaan. Koska ulkomaista raaka-ainetta on ollut edullisesti tarjolla, on kotimaan malminetsintää voimakkaasti vähennetty tai kokonaan purettu. On yleisesti otettu, että "malminetsintä ei Suomessa kannata", vaikka kysymys onkin suurelta osin ollut yhtiöiden uudistuneesta raaka-aineiden hankintastrategiasta. Tästä on ollut seurauksena, että päättävien tahojen on ollut vaikeaa ymmärtää malminetsinnän ja "malmin tekemisen" aina vaatimaa pitkäjänteisyyttä. GTK:n malminetsintä edellyttää kuitenkin laaja-alaisuutta, ja sen tulisi huomioida uudetkin raaka-aineet ja näin luoda mahdollisuuksia teollista pohjaa vahvistavalle jatkojalostukselle. On pidettävä huolta, ettei GTK:n malminetsinnän kokonaisuus ole liikaa riippuvainen yksittäisten yhtiöiden kulloinkin valitsemasta raaka-aineiden hankintastrategiasta.

ETA astunee voimaan Suomessakin 1993 ja sen seurauksena kaivoslainsäädäntöä pitää uudistaa. Tällöin Suomen mineraaliset

raaka-ainevarat ovat myös ulkomaisten metalli-, teollisuusmineraali- ja rakennuskivialan suuryhtiöiden hyödynnettävissä ja tämä olisi omiaan lisäämään kilpailua ainakin esiintymien valtausoikeuksista. Nykyinen kaivoslaki ei sitä salli. Lain uudistuessa suotuisasti GTK voisi toimia tietopankkina, alkuunauttajana ja malminetsinnän yhteistyökumppanina ulkomaisillekin yrityksille sekä osallistua aktiivisesti "malmin tekemiseen" yhteistyössä mahdollisen hyväksikäyttäjän kanssa. Malminetsinnän toimintaedellytyksiä "uunituoreessa organisaatiossa" pitäisi parantaa sillä tuloksia kyllä vaaditaan, mutta samalla kuitenkin supistetaan sekä henkilö- että materiaaliresursseja.

On näet muistettava, että metallien, teollisuusmineraalien ja rakennuskivien menestyksellinen etsintä ja inventointi luovat pohjaa vientiteollisuuden kasvattamiseen. GTK:lla on tässä työssä oma merkittävä ja haastava sarkansa kynnettävänä. Maailmankaupan esteiden madaltuminen ja kansainvälisen kilpailun kirsityminen velvoittavat GTK:n malminetsijöitä, jotka korkean ammattitaitonsa turvin pystyvät tarvittaessa palvelemaan mineraalisia raaka-aineita tarvitsevia kansainvälistyneitä yrityksiämme myös rajojemme ulkopuolella. Malminetsinnän osaaminen, sitä tukevat menetelmkehitys ja perustutkimus sekä kyky vastata kansainväliseen kysyntään ovat GTK:n kehittämisen ja menestymisen kannalta niin tärkeitä, ettei niitä saa päästää näivettymään.

## **SUMMARY**

### **OUTLOOK ON EXPLORATION AT THE GEOLOGICAL SURVEY OF FINLAND (GSF)**

In early 1980's exploration was active at the GSF, however the results were not very satisfactory, even though a few deposits of economic potential were discovered and sold to mining companies (i.e. Talvivaara polymetallic, Rauhala Zn, Cu, Pb, Pahtavaara Au, Kuusamo Au, Co and Virtasalmi kaolin). Towards the end of 1980's an increasing emphasis was laid on the strategic planning of exploration and on the research of mineral raw materials.

In 1990 the GSF was re-organized and operational activities were transferred to regional offices while the research and strategic planning remained within the central administration. This was supposed to improve exploration activities at the GSF which, at the moment, is of great importance for the country because the mining industry has strongly reduced its own exploration activities.

Finland is adopting the ET-agreement in 1993 and accordingly the mining legislation is being changed so as to become more flexible, allowing foreign companies to carry out exploration and mining in Finland. This could also result in the activation of Finland's own efforts on the mining sector which, if successful, would enlarge our metal industry which at present contributes some 40 % to Finland's foreign exchange revenue.

It should be emphasized that exploration is a long lasting effort which also needs adequate resources to be successful. Especially crucial for exploration is the availability of an adequate drilling program, which in our circumstances with thick glacial overburden is practically the only way to discover ore.

**EAPKY — SALOMONINA KÖSSÖLÄSSÄ**

# Ruostumattoman teräksen käsittelylaitokset Hollantiin

Diplomi-insinööri Risto Pellikka, Outokumpu Polarit Oy, Tornio

## PROJEKTIN TAUSTA

Outokumpu Steel Oy on yksi Outokumpu-konsernin neljästä liiketoiminta-alueesta. Se käsittää kolme yhtiöitettyä toimialaa:

- Outokumpu Polarit, joka valmistaa ruostumattomia teräksiä Tornion terässulatussa, kuumavalssaamossa ja kylmävalssaamossa.
- JA-RO, joka tuottaa putkia ja putkenosia ruostumattomasta teräksestä Pietarsaareissa ja Vetelissä.
- Outokumpu Chrome, joka valmistaa kromirikasteita ja ferrokromia Kemian kaivoksella ja Tornion ferrokromitehtaalla.

Torniossa on ollut vuosina 1989-91 käynnissä mittava yli 900 Mmk:n investointiohjelma, jonka ansiosta kylmävalssattujen terästen tuotantokapasiteetti nousi 250 000 tonniin vuodessa ja lisäksi kuumanauhatuotteita voidaan valssata noin 100 000 tonnia vuodessa.

Keski-Eurooppa on erittäin tärkeä markkina-alue, n. 40 % kokonaisyhteistyöstä, ja kapasiteetin nousun myötä sen merkitys vielä korostuu. Jotta kasvava tuotanto kyetään myymään, on Polaritin tarjottava keskieurooppalaisille asiakkailleen vähintään sama palvelutaso kuin sikäläiset kilpailijat tarjoavat. Tämä edellyttää mm. jakelijärjestelmän tehostamista. Samaten kuljetuskustannuksia on pystyttävä alentamaan, jotta kilpailukyky olisi mahdollisimman hyvä. Syksyllä 1990 tehtiin päätös aloittaa selvitykset Keski-Eurooppaan perustettavasta kylmänauhan leikkaustehtaasta.

JA-RO oli hankkinut kolme putkilinjaa Haato-tuote Oy:n putkiliiiketoiminnan oston yhteydessä. Koska markkinat EY-alueella ovat JA-RO:lle tärkeitä volyymiehdessä, olisi hankittu lisäkapasiteetti luontevaa sijoittaa samalle alueelle. JA-RO:n putkitekhdassuunnitelmat katsottiin järkeväksi yhdistää samaan selvitystehtävään Polaritin tehdashankkeen kanssa.

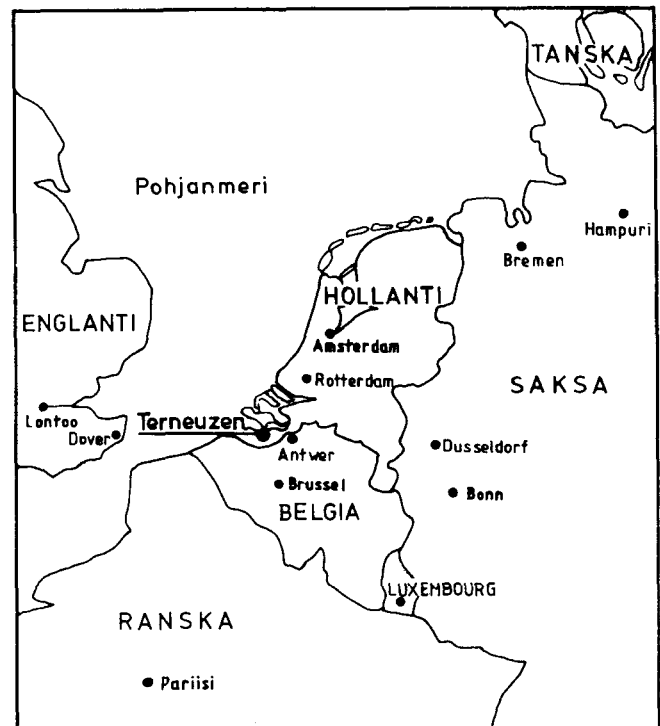
## SUUNNITTELUVAIHE

### Kuljetukset

Tähän asti Polaritin terästoimitukset Keski-Eurooppaan on hoidettu pääasiassa auto- ja junakuljetuksin. Kuljetusmäärien noustessa tulee vastaan raja, jolloin yksikkökustannukset alkavat nousta materiaalmäärien noustessa. Tämä johtuu siitä, että sopivaa paluuliikennettä ei enää pystytä järjestämään. Kuljetusjärjestelmän pääperiaatteeksi valittiin täysien kylmävalssattujen teräsrullien, max paino 26 t, laivakuljetus Tornioista keskieurooppalaiseen satamaan 2000 tonnin erissä kerran viikossa. Katkaisu-, halkaisu- ja pakkauslaitosten jälkeen terästuotteet toimitetaan asiakkaille sikäläisten liikennöitsijöiden toimesta pääasiassa maanteitse, mutta rautatiekuljetus sekä kanavalaivojen käyttö on myös vaihtoehtona.

### Sijaintipaikka

Mahdollisiksi sijoitusmaiksi valittiin Belgia, Hollanti ja Saksa. Perusteluna tälle valinnalle oli näiden maiden kuuluminen EY:öön ja



Kuva 1. Tehtaan sijainti.

Fig. 1. Location of the plant.

hyvä liikenteellinen sijainti. Kussakin maassa analysoitiin tarkemmin useita satamakaupunkeja. Lounais-Hollannissa sijaitsevan Terneuzenin (kuva 1) lopulliseen valintaan vaikutti mm. tontin edullinen sijainti (aivan purkauslaiturin vieressä), liikenteellisesti keskeinen kaupunki, hyvät laajennusmahdollisuudet sekä myöskin paikallisten viranomaisten yhteistyöhalu ja -kyky sekä valmius mittaviin panostuksiin projektin toteuttamiseksi.

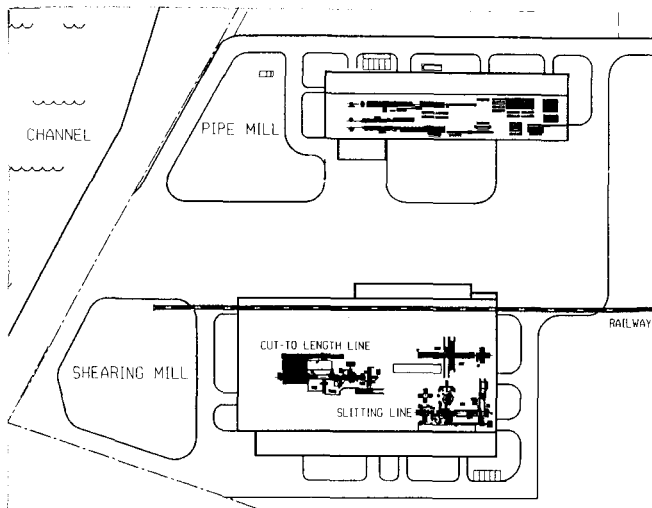
### Lay-out ja toiminnot

Leikkaustehtas ja putkitekhdas päätettiin rakentaa samalle tontille, mutta eri rakennuksiin, omiksi toimintayksiköikseen (kuva 2).

Kylmänauharullat siirretään purkauslaiturilta lavetti- tai trukki-kuljetuksella leikkaustehtaan prosessihalliin, josta ne siirretään nosturilla joko katkaisu- tai halkaisulinjalle. Prosessilinjoilta valmis tuote siirtyy pakkauslinjoille viereiseen halliin ja edelleen varastoon.

Lähtevä tavara lastataan hallin ulkopuolella autoihin tai sisäpuolella junavaunuuihin. Putkitekhtaalle sen tarvitsema raaka-aine viehdään pihan yli trukilla.

Kaikki kolme putkilinjaa ovat samassa hallissa rinnakkain. Putkinauhat syötetään hallin toisesta päästä ja vastakkaisessa päädyssä



Kuva 2. Leikkaustehtas ja putkitehtas, lay-outit.  
Fig. 2. Lay-outs of the shearing mill and pipe mill.

on katkaisu, peittäys, tarkastus ja pakkaus. Ulkovarastoalueella lastaukset ajoneuvon tapahtuvat trukeilla.

## Rakentaminen

Rakennusmaa, pinta-alaltaan 10 ha, oli entistä merenpohjaa, joka oli saatettu nykyiseen korkeuteensa viereisen kanavan ruoppausmailla, joten kaikki lattiat ja perustukset oli paalutettava.

Rakennusmateriaaliksi valittiin teräsrunko, sokkelirakenteeksi tiili 1,4 m korkeuteen ja seinärakenteeksi profiloitu muovipinnoitettu pelti, lämmöneristyksenä mineraalivilla.

Tuotanto- ja varastohallien lämmitys hoidetaan maakaasulla toimivilla ilmalämmittimillä, jotka sijoitetaan katolle.

Paineilmajärjestelmä on periaattessa kummallakin tehtaalla omansa, mutta yhdistetty, siten, että hätätapauksessa voidaan hyödyntää toisen tehtaan paineilmatuotantoa.

Sähköistys on jaettu tehtaittäin: molemmilla tehtailla on oma sähkönsyöttöjärjestelmä muuntajineen.

## Prosessitekniikka

Leikkaustehtaan prosessilinjojen lähtötiedot:

- käsiteltävä materiaali: AISI 300 ja 400 sarjat
- rullan mitat: max ulkohalk. 2000 mm  
max paino 26 t
- sisääntulevan nauhan mitat: leveys max 1650 mm  
paksuus 0,3-3,0 mm
- leikatun tuotteen mitat:
 

levyt	leveys 400 - 1600 mm
	pituus 600 - 6400 mm
	(2 x 3000 mm)
nauhat	min lev. 35 mm

Linjojen kapasiteetti on yhteensä 100 000 tonnia vuodessa.

Putkitehtaan konekanta muodostuu kolmesta entisen Haato-tuote Oy:n putkenvalmistuslinjasta oheislaitteineen, jotka ovat suurelta osin uusia investointeja.

- A
  - \* halkaisija-alue 80 - 250 mm
  - \* seinämävahvuudet 1,5 - 3,0 mm
  - \* normaali kanki pituus 6000 mm
  - 12000 mm mahdollinen

- B
  - \* halkaisija-alue 26,9 - 76,1 mm
  - \* seinämävahvuudet 1,0 - 3,0 mm
  - \* normaali kanki pituus 6000 mm
  - 12000 mm mahdollinen
- C
  - \* halkaisija-alue 15 - 54 mm
  - \* seinämävahvuudet 1,0 - 2,5 mm
  - \* normaali kanki pituus 6000 mm
  - 12000 mm mahdollinen

Kapasiteetti on n. 4000 tonnia vuodessa.

## ATK ja toiminnonohjaus

Leikkuutehtaan toiminta-ajatuksena on leikata, pakata ja kuljettaa tuotteet asiakkaille.

Myynti hoidetaan keskitetysti Torniossa. Niinpä Polaritin tuotannon- ja myynninohjausjärjestelmiin on tehtävä tarpeelliset muutokset, jotta Hollannin tehdas voidaan liittää samaan järjestelmään. Tämän mahdollistamiseksi on hankittava tele- ja dataverkkoyhteys Hollannin tehtaaseen, Polaritin ja JA-RO:n välille.

Putkitehtas tulee toimimaan itsenäisenä yksikkönä, joka ostaa raaka-aineen Polaritilta ja myy tuotteensa asiakkaille JA-RO:n myynnin välityksellä.

## Henkilöstö

Täydellä kapasiteetilla leikkaustehtas työllistää n 75 ja putkitehtas 35 henkeä. Leikkauslinjojen henkilöstö koulutetaan Tornion tehtailla samanlaisilla tai lähes samanlaisilla linjoilla.

Putkitehtaan linjojen asennusta, käyttöönottoa ja koulutusta varten tehtiin sopimus entisten Haato-tuotteen prosessimiehistä koostuvan ryhmän kanssa laitteiden asennuksesta, käyttöönotosta ja prosessimiesten koulutuksesta.

## Investoinnin kannattavuus

Tehtaitten investointikustannusarvio on 200 Mmk. Kannattavuutta arvioitaessa otettiin huomioon useita tekijöitä. Esim. leikkauslinjat olisi joka tapauksessa ollut investoitava, ja ne korvaavat Tornion vastaavat investoinnit. Rahtisäästöjä syntyy kokonaisten nauharullien laivakuljetuksessa verrattuna nykyiseen. Keski-Euroopan alueella lasketaan myös saatavan lisämyyntiä lyhempien etäisyyksien ja tehokkaamman palvelun ansiosta. Toisaalta kustannukset tulevat olemaan suuremmat kuin Torniossa, jossa on valmis infrastruktuuri uusille linjoille. Putkitehtaalle sijainti raaka-ainetoimittajan vieressä laajan markkina-alueen keskellä on optimipaikka liiketoiminnan kannalta.

Polarit teki myönteisen päätöksen hankkeen toteuttamisesta heinäkuussa 1991 ja JA-RO pari kuukautta myöhemmin. Samassa yhteydessä perustettiin Hollantiin yhtiöt Outokumpu Steel Processing B.V. leikkaustehtasta ja Finero B.V. putkitehtasta varten.

Laittehankinnat suunniteltiin tehtävän vuoden 1991 loppuun mennessä, rakentaminen syksyyn 1992 mennessä ja laiteasennukset valmistuisivat vuoden loppuun koekäyttöjen ja tuotannon vähitellen käynnistytessä vuoden 1993 alussa.

## TOTEUTUS

### Organisaatio

Koska Polaritin/JA-RO:n piiristä löytyy paras asiantuntemus prosessitekniikan ja laitteiston osalta, on luonnollista, että tämä osa projektista toteutettiin käyttäen tehtaitten omia resursseja. Sama koskee ATK:ta, toiminnonohjausta, taloussuunnittelua jne.

Rakennussuunnittelu hollantilaisiin olosuhteisiin oli luontevaa



antaa sikäläisille asiantuntijoille, mutta valvonta ja koordinointi haluttiin pitää tiukasti omissa käsissä.

### Laitehankinnat

Tärkeimmät laitehankinnat/toimittajat olivat:

- Katkaisulinja/Ungerer, Saksa
- Halkaisulinja/FIMI, Italia
- Nosturit/Schippers-Kone, Hollanti
- Prosessisähköistys/Siemens, Suomi

Näistä katkaisulinja oli vuonna 1991 Tornioon hankitun linjan kaksoiskappale. Myöskin prosessisähköistykseen toimittaja on sähköistänyt Tornioon vastaavia linjoja.

### Rakentaminen

Rakennussuunnittelun tarjouskilpailussa menestyi tehdaspaikkakunnalla sijaitseva insinööritoimisto, joka oli myöskin sopivan kokoinen projektiin nähden. Tämän firman toimeksiantoon kuului rakentamiseen liittyvän suunnittelun lisäksi myös avustaminen tarjouskilpailuun osallistujien valinnassa ja itse rakentamisen valvonta.

Hollantiin nimitettiin suunnittelun ja rakentamisen ajaksi suomalainen rakentamisen päällikkö, sekä hänelle avuksi suunnitteluinsinööri koordinoimaan Torniossa tehtävää lay-out- ja laitesuunnittelua ja Hollannissa tehtävää rakennussuunnittelua.

Rakentaminen pilkottiin sopivan kokoiisiin urakoihin tavoitteena käyttää pääasiassa pienehköjä ja keskisuuria urakoitsijoita, jota kautta uskottiin päästävän edullisimpiin kustannuksiin. Tärkeimmät erillisurakat olivat: paalutus (1600 paalua), aluetyöt, rakennusperustukset, teräsrunko, katteet, lattiat ja koneperustukset, sähköistys sekä LVI.

Todellisen kilpailun aikaansaamiseksi oli tarjouksia pyydettyä kaikista ympäröivistä maista sekä Suomesta. Niinpä alueella työskenteleekin hollantilaisten lisäksi belgialaisia, italialaisia, saksalaisia, irlantilaisia ja suomalaisia urakoitsijoita. Osoittautui, että sekä kate- että sähköurakoinnissa suomalaiset yritykset olivat kilpailukykyisiä ja pääsivät näin hankkimaan Keski-Euroopan kokemusta.

## SUMMARY

### STAINLESS STEEL PROCESSING PLANTS TO THE NETHERLANDS

Outokumpu Polarit Oy and Oy JA-RO Ab started their first production investment project in a foreign country in autumn 1990, the feasibility study was completed in summer 1991, and after that the decision to build a factory was made. The production will be started in the beginning of 1993.

The shearing mill consists of a cut-to-length line and a slitting line with necessary packing lines for stainless cold rolled steel.

### Huomioita ja erityispiirteitä

Oikean hintatason löytämiseksi oli välttämätöntä ottaa tarjouskilpailuun ulkomaalaisia yrityksiä. Myöskin tarjous- ja hintaneuvotte- luja oli syytä käydä muidenkin kuin ensimmäisellä kierroksella halvimpien urakoitsijoiden kanssa.

Insinööritoimiston/konsultin rooli on Hollannissa selvästi voimakkaampi kuin meillä Suomessa. Yleinen tapa siellä tuntui olevan, että rakennuttaja, tehtyään sopimuksen rakentamisesta, seuraavan kerran palasi asiaan vasta töiden valmistuttua. Meidän tapamme pitää päätösvalta kaiken aikaa itsellä aiheutti tiettyjä ristiriitoja ennenkuin suunnittelutoimisto suostui toimimaan päämiehensä haluamalla tavalla.

Kustannusten säästön kannalta voidaan pitää oleellisen tärkeänä, että rakennuttajan oma mies on koko ajan rakennuspaikalla, eikä konsultille anneta liian itsenäistä päätösvaltaa.

Hollanti on hyvin byrokraattinen maa erilaisten lupamenettelyjen suhteen, mutta myönteisenä piirteenä oli nähtävissä, että asianomaisissa virkamiehissä löytyy myös joustavuutta tarvittaessa. Myöskään hollantilaisten yleistä hyvää kielitaitoa ei tule liikaa korostettua.

### YHTEENVETO

Outokumpu Polarit Oy:n ja Oy JA-RO Ab:n ensimmäinen tuotannon investointi ulkomaille käynnistyi esiselvityksen osalta syksyllä 1990, päätös tehtaitten rakentamisesta Terneuzeniin, Hollantiin, tehtiin kesällä 1991 ja tuotanto käynnistyy vuoden 1993 alussa.

Leikkaustehtaalle tulee yksi katkaisu- ja yksi halkaisulinja ja tarvittavat pakkauslinjat ruostumattomille kylmävalssatuille teräksille. Materiaali toimitetaan laivakuljetuksina Outokumpu Polarit Oy:n tehtaalta Torniossa, josta myös hoidetaan tuotannonohjaus, laadunvalvonta ja markkinointi.

Putkitehtaalle asennetaan Haato-tuote Oy:ltä ostetut kolme putkihitsauslinjaa täydennettynä moderneilla apulaitteilla. Raaka-aineensa, ruostumattomat putkirainat, se ostaa samalla tontilla sijaitsevalta leikkaustehtaalta.

The material will be shipped from the plant of Outokumpu Polarit in Tornio, from where the production planning, quality control and marketing are also organized.

The pipe mill includes three used pipe welding lines bought from Haato-tuote Oy, completed with modern accessory equipments. The pipe mill will receive its raw material, slitted stainless steel, from the nearby shearing mill.

# Kullan esiintyminen eräissä Suomen uusissa kultamalmaiheissa

FT Pekka A. Nurmi, FK Bo Johansson ja FT Kari Kojonen, Geologian tutkimuskeskus, Malmiosasto, Espoo

## JOHDANTO

Kullan tuotanto on ollut Fennoskandiassa hyvin vähäistä verrattuna moniin muihin kilpialueisiin ja perustunut lähinnä massiivisten sulfidimalmien rikastukseen /1, 2/. Suomessa tärkein tuottaja on ollut Outokummun Keretin kaivos, ja vain Haverissa kulta oli päämalmimetallina. Montaakaan taloudellisesti mielenkiintoista, ainoastaan kultaa sisältävää malmaiheita ei vielä 1980-luvun alussa tunnettu.

Käsitys Suomen kultapotentiaalista on kuitenkin viimeksi kuluneiden kymmenen vuoden aikana olennaisesti muuttunut. Etsintämenetelmien ja -filosofian kehittäminen sekä malminetsintäresurssien pitkäjänteinen suuntaaminen kullan etsintään ovat johtaneet lukuisten, aikaisemmin tuntemattomien kultaprovinssien paikallistamiseen eri puolilta maata /3, 4/. Löydetty uudet kultaesintymät ovat epigeneettisiä ts. saostuneet hydrotermisistä liuoksista isäntäkivien muodostumisen sekä yleensä metamorfoosin huipuvaiheen jälkeen, ja kulta on niissä ainoa tai ainakin selvästi tärkein malmimetalli. Konkreettisia esimerkkejä ovat noin 4000 kg kultaa tuottanut Saattoporan kaivos sekä useat esiintymät, joista kaivosyhtiöt ja Geologian tutkimuskeskus parhaillaan suorittavat yksityiskohtaisia arvioita (mm. Kuusamon Juomasuo ja Hangaslampi, Sodankylän Pahtavaara, Oriveden Kutemajärvi, Rantasalmen Osikonmäki ja Ilomantsin Ward I). Syväkairauksin on paikallistettu jo noin 50 kultaesintymää (kuva 1), ja kulta näyttääkin olevan eräs potentiaalisimmista metalleista tulevaisuuden kaivostoiminnan kannalta maassamme.

Epigeneettiset kultamalmit ovat esiintymistavaltaan, synnyltään ja ominaisuuksiltaan varsin erilaisia kuin perusmetallimalmit, eikä meillä ole ollut paljokaan aikaisempaa kokemusta niiden etsinnästä tai hyödyntämisestä. Tämän vuoksi mm. Geologian tutkimuskeskus on panostanut viime vuosina monipuoliseen perustutkimukseen kultaesintymien geologian, geokemian, mineralogian, syntyprosessien ja parhaiten soveltuvien etsintämenetelmien selvittämiseksi, mm. /5,6,7,8,9,10,11,12/.

Taloudellisen hyväksikäytön kannalta kultamalmin tärkein erityispiirre on se, että jo hyvin alhainen pitoisuus (muutama g/t) voi olla kannattava, mutta malmit ovat heterogeenisiä ja vaikeasti rajattavissa. Kulta esiintyy yleisimmin metallisena, mikrometrien suuruusluokan erillisinä rakeina silikaattien välitiloissa ja raoissa tai yhteenkasvettuneena sulfidien kanssa, mikä saattaa edustaa alemmassa lämpötilassa kiisujen hilasta suotautunutta kultaa /13/. Kuitenkin jo kauan on tiedetty, että joissakin malmeissa huomattava osa kokonaiskullasta piilee ns. "näkyttömänä" (<0,1 µm) arsenidi- ja sulfidimineraaleissa. Aikaisemmin ei pystytty selvittämään esiintyikö "näkyttömän kulta" submikroskooppisina sulkeumina vai kemiallisesti sitoutuneena mineraalin hilaan. Vasta aivan viime vuosina on sekundääri-ionimassaspektrometritekniikan (SIMS) kehittyminen mahdollistanut kvantitatiiviset määritykset sulfidien kultapitoisuuksista /14, 15/, ja mm. Mössbauer-spektroskopian avulla on selvitetty, että kultaa esiintyy sekä kemiallisesti sitoutuneena mineraalien hilassa että kolloidisina sulkeumina /14, 16/. Kulta konsentroituu erityisesti arseenikiisuun ja arseenirikkaa-



**Kuva 1.** Suomen epigeneettiset kultamalmaiheet ja tähän tutkimukseen valitut esiintymät: 1-3. Ward I, Rämepuro ja Muurinsuo (Ilomantsi); 4-5. Juomasuo ja Hangaslampi (Kuusamo); 6. Suurikuusikko (Kittilä); 7. Iso-Kuotko (Kittilä); 10. Ängesneva (Haapavesi); 11. Kaapelinkulma (Valkeakoski); ja 12. Jokisivu (Huittinen).

**Fig. 1.** Epigenetic gold mineralizations in Finland and deposits included in this study; 1-3. Ward I, Rämepuro and Muurinsuo (Ilomantsi); 4-5. Joumasuo and Hangaslampi (Kuusamo); 6. Suurikuusikko (Kittilä); 7. Iso-Kuotko (Kittilä); 10. Ängesneva (Haapavesi); 11. Kaapelinkulma (Valkeakoski); and 12. Jokisivu (Huittinen).

seen rikkikiisuun, joiden kultapitoisuus voi vaihdella kymmenistä tuhansiin g/t. Kullan ja arseenin välinen hyvä korrelaatio viittaa myös siihen, että kulta korvaa osittain arseenia sulfidien hilassa /17/. Joissakin esiintymissä pääosa kullasta esiintyy "näkyttömänä". Metallisen kullan lisäksi vähäinen osa kullasta esiintyy paikoin elektrumina, tellurideina (kalaveriitti ja peziitti), aurostibiitinä ja maldoniittina.

Kultamalmin etsintä, arviointi ja louhinta eivät ole mahdollisia ilman tiheää näytteenottoa ja analytiikkaa. Analyysimenetelmät sisältävät yleisimmin fire assay -rikastuksen, vaikkakin Suomessa on erityisesti etsintävaiheessa käytetty paljon myös kuningasvesiuutosta, ennen pitoisuuden määrittystä atomiabsorptiospektrometrillä tai neutroniaktivoinnilla. Analyysitulokset ovat kokonaispitoisuuksia eivätkä anna aina todellista kuvaa malmin taloudellisesta arvosta.

ta, koska kullan esiintymisellä ja jakautumisella eri mineraalifaasi-kesken on keskeinen merkitys kultamalmin rikastuksessa. Karkea kulta (>0,1 mm) saadaan talteen painovoimaerotuksella. Usein kulta esiintyy kuitenkin pääosin hienona, jonka rikastuksessa maailmalla selvästi eniten käytetty menetelmä on syanidiliuotus. Se soveltuu parhaiten ns. free milling -malmeille, joissa kulta jauhautuu omiksi rakeikseen. Syanidi ei pysty kuitenkaan liuottamaan ns. refraktorimalmien ”näkytöntä” kulta, joka esiintyy hyvin pieninä sulkeumina muissa mineraaleissa tai sitoutuneena sulfidien hilaan. Toki myös refraktorinen kulta saadaan rikastettua mm. patus- tai autoklaavimenetelmällä, mutta kustannukset saattavat nousta huomattavasti.

Vaahdotusmenetelmällä, joka meilläkin on ollut käytössä Saattoporin kaivoksessa /18/, kulta saadaan konsentroitua sulfidirikasteeseen. Rikasteen arvo laskee kuitenkin olennaisesti korkean arseenipitoisuuden johdosta. Monilla refraktorikultaesiintymillä ei olekaan läheskään sitä taloudellista arvoa, mitä pelkän kultapitoisuuden perusteella voisi päätellä.

Tämän tutkimuksen tarkoituksena on alustavasti selvittää kullan mineralogian ja erityisesti ns. ”näkyttömän kullan” esiintymistä Suomen kultamalmi-alueissa. Työhön valittiin 12 esiintymää siten, että ne mahdollisimman hyvin edustaisivat eri tyyppisiä mineralisaatioita maamme tärkeimmistä kultaprovinseista (kuva 1). Jokaisesta esiintymästä otettiin edustava yhdistelmänäyte kairausnäyttemateriaalista. Kullan esiintymistä ja näytteiden malmimineralogian selvitetiin mikroskooppisesti, elektronimikroanalysaattorilla, sekundääri-ionimassaspektrometrillä ja syanidiliuotuskokein.

## KULTAESIINTYMIEN GEOLOGIA

Suomen epigeneettiset kultaesiintymät voidaan geologisin perustein jakaa kolmeen pääryhmään: 1) arkeisiin vihreäkivivöhykkeisiin liittyvät esiintymät Itä-Suomessa, 2) Lapin vihreäkivivöhykkeeseen esiintymät, ja 3) Svekofennidien esiintymät Etelä-Suomessa /3, 10/. Arkeisten vihreäkivivöhykkeiden kultamalmit, kuten Kanadan Abitibi- ja Länsi-Australian Norseman-Wiluna-vyöhykkeellä, ovat tuottaneet merkittävän osan maailman kullasta. Suomessa on paikallistettu em. kultaprovinssien kanssa geologisesti analoginen vyöhyke Ilomantsin Hatun liuskealueelta, jossa on tavattu merkkejä voimakkaasta hydrotermisestä muuttumisesta ja kultamineralisaatiosta yli 40 km matkalla. Vuodesta 1985 alkaen suoritettu monipuolinen perustutkimus ja siihen yhdistetty malminetsintä ovat johtaneet ko. alueella jo useiden kultaesiintymien paikallistamiseen /19,20/. Viitteitä samantyyppisistä mineralisaatiosysteemeistä on saatu myös Kuhmon ja Suomussalmen vihreäkivivöhykkeiltä (kuva 1).

Tähän tutkimukseen valittiin kolme kultaesiintymää Hatun liuskevöhykkeeltä (taulukko 1). Alueen malmi-alueet liittyvät laajalajiin, hydrotermisesti muuttuneisiin hiertovöhykkeisiin, ja vaikka isäntäkivet vaihtelevat, tonaliittisten intruusioiden kontaktivyöhykkeet ovat suosineet kullan saostumista. Kulta liittyy kiisupiroteisiin serisiitti-kvartsiliuskeisiin ja/tai kvartsi(-turmalini) juoniin. Kultamineralisaatioiden yhteydessä esiintyy vähäisiä määriä sulfideja, arsenideja ja tellurideja sekä metallista vismuttia (taulukko 1) /21/. Rämepuron esiintymä sisältää sekä piroteista että juoniin liittyvää malmia kärkeän geologisen arvion perusteella n. 250 000 t keskipitoisuudella 5 g/t Au/19/. Ward I on äskettäin löydetty huomattavan kultapitoinen malmiesiintymä, jonka jatkokaivaukset ovat meneillään. Kulta esiintyy rautakiisupiroteisessa voimakkaasti hiertyneessä felsisessä yksikössä joka rajautuu mafisiin ja ultramafisiin liuskeisiin. Muurinsuolla kulta on tavattu muutama metrin paksuisina 0,5-5 g/t lävistyksinä laajahkolla alueella serisiittiliuskeissa, jota leikkaavat tonaliittijuonet. Piroteista malmityyppiä luonnehtivat heikko rautakiisupirote ja paikoin esiintyvät arseenikiisu sekä gersdorffiitti.

Lapin vihreäkivivöhykkeen tunnetut kultaesiintymät ovat keskittyneet Kuusamon liuskealueelle ja Kittilän ympäristöön (kuva

1). Kuusamosta on löydetty useita kobolttipitoisia kultaesiintymiä, jotka sijaitsevat vihreäkivien rajaamassa ja mafisten — ultramafisten juonien lävistämässä, erittäin voimakkaasti muuttuneessa sedimenttikivimuodostumassa /11/. Tähän tutkimukseen otettiin näytteitä Juomasuon ja sen lähellä sijaitsevasta Hangaslammen esiintymästä. Juomasuolla mineralisaatio koostuu vaihtelevasta rautakiisupiroteesta, jossa esiintyy ohuita massiivisia osia. Kulta tavataan pieninä sulkeumina sulfideissa ja uranimitissa sekä silikaattien välitiloissa ja lohkoraoissa yhdessä telluuri-vismutti-mineraalien kanssa (taulukko 1, H. Pankka, tiedontanto 1992). Hangaslammen esiintymä on hyvin saman tyyppinen, joskin kiisujen määrä on vähäisempi. Outokumpu Finnmines Oy on tehnyt kaivosteknisiä selvityksiä Juomasuon esiintymästä.

Kittilässä kulta liittyy tyypillisesti kvartsi-karbonaatti-juoniin ja -breksioihin sekä kiisu-piroteisiin voimakkaasti muuttuneissa ja hiertyneissä mafisissa tai ultramafisissa kivissä. Esiintymät sisältävät suhteellisen runsaasti rautakiisuja sekä paikoin arseeni- ja kupariikiisu. Kupariikiisu on ollut Saattoporin kaivoksen sivutuotteenä. Tutkimukseen valittiin eräs Iso-Kuotkon alueen kulta-aiheista, jossa kulta esiintyy rauta- ja arseenikiisurikkaissa kvartsi-karbonaattijuonissa /22/. Suurikuusikossa kulta liittyy voimakkaasti kvartsiutuneeseen breksiavyöhykkeeseen mafisen vulkaniitin ja mustaliuskeen kontaktissa. Rikki- ja arseenikiisu ovat piroteena, mutta metallista kulta ei ole havaittu hieissä (taulukko 1, I. Härkönen, tiedonanto 1992).

Svekofennidien tunnetut kultaesiintymät ovat keskittyneet Pohjanmaalle, Savoan ja Lounais-Suomeen (kuva 1). Mineralisaatiot liittyvät tyypillisesti tonaliittisiin intruusioiden ja malmityyppiä luonnehtivat pienialaiset, terävärajaiset kvartsi-kiisujuonisyteemit sekä piroteet hiertyneessä, mutta suhteellisen heikosti muuttuneessa isäntäkivessä. Rautakiisut, arseenikiisu tai löllingiitti sekä kupariikiisu voivat esiintyä melko runsaina. Osikonmäen kultamineralisaatio liittyy n. 3 km pitkään hiertovöhykkeeseen, jossa on useita, erillisiä muutaman metrin paksuisia, piroteisia malmivöhykkeitä /8/. Itä-malmin on arvioitu sisältävän n. 2 Mt mineralisoitunutta kiveä keskipitoisuudeltaan 3 g/t Au. Näytteet otettiin esiintymän kuparipitoisesta (näyte E) ja arseenipitoisesta (näyte W) osasta (taulukko 1). Ängesnevan (Kiimalan) esiintymässä kulta liittyy hiertyneessä plagioklaasiporfyyriitissä olevaan arseeni- ja rautakiisupiroteeseen sekä kvartsijuoniin /23/. Geologisen malmiarvion mukaan esiintymässä on n. 1,2 Mt mineralisoitunutta kiveä keskipitoisuudella 1,5 g/t Au. Kaapelinkulman ja Jokisivun mineralisaatiot liittyvät kvartsidioriittia ja emäksistä vulkaniittia leikkaaviin, kiisupitoisiin kvartsijuonisyteemiin. Esiintymät ovat geometrisesti monimutkaisia ja melko pienialaisia, mutta sisältävät rikkaita osia. Kulta on Svekofennidien mineralisaatioissa usein sulkeumina arseenikiisussa ja löllingiitissä. Löllingiitti esiintyy yleensä arseenikiisurakeiden keskellä ja sisältää suurimman osan kullasta. Osa kullasta on sitoutuneena vismutin ja antimoinin kanssa maldoniittina ja aurostibiittinä.

## SYANIDILIUOTUSKOKKEET

Syanidiliuotusta voidaan käyttää ns. vapaan kullan osuuden karkeaksi määrittämiseksi. Kunkin kohteen kairasydänmateriaalista valittiin edustava yhdistelmänäyte (taulukko 2) syanidiliuotuskokeita varten, jotka teetettiin Valtion teknillisen tutkimuskeskuksen Mineraliteknikan laboratoriossa /24/. Näyttemurskeista (raekoko) 75-90% <1 mm) kahtioitiin 500 g osanäytteet, joita jauhettiin märkänä kuulamylyssä 30 minuuttia. Syanidoiminnan jälkeen tehdyt seula-analyytit osoittivat tuotteiden raekoon vaihtelevan selvästi malmin kovuudesta riippuen (taulukko 2), mikä jossain määrin vaikeuttaa tulosten vertailtavuutta. Kaikissa tapauksissa hienous (80-98 % <74 µm) on ollut kuitenkin riittävä normaalia käytännön syanidiliuotusprosessia varten.

Liuotuskokeissa käytettiin seuraavia parametreja: näyttemäärä 500 g, lietetiheys 40 %, pH 11,5, NaCN-väkevyys 0,3 %, sekoitus



Taulukko 1. Tutkitut kultaesiintymät ja niiden geologiset pääpiirteet.  
Table 1. Gold deposits studied and their geological characteristics.

Esiintymä Deposit	Kunta Commune	Yhtiö <sup>1</sup> Company	Malmityyppi Ore type	Geokemia <sup>2</sup> Geochemistry	Malmimineraalit Ore minerals
Ward I	Ilomantsi	GTK	Kiisupirote hiertyneessä ja muuttuneessa felsisessä vulkaniitissa	Au > Te > W	SKII, CUKI, KUBA, MAGK, GOET, ZNVÄ, PBHO, MACK, ALTA, PETZ, KALA, AU
Rämeपुरo	Ilomantsi	OKU	Kvartsi-turmaliinijuonet ja pirote hiertyneessä tonaliittijuonessa ja kiilleliuskeessa	Au > Bi > Te > B	SKII, MAGK, ZNVÄ, CUKI, PBHO, BI, AU, HEDL, SCHE, MOHO, ILME
Muurinsuo	Ilomantsi	GTK	Heikko kiisupirote serisiittiliuskeessa	Au > Te > As	SKII, MAGK, PENT, CUKI, MACK, ASKI, GERS, ILME, RUTI, MOHO, SCHE, PBHO, AU, ALTA, HESS, TEVI, TSUM, MELO, RUCK, VOLY
Juomasuo	Kuusamo	GTK/ OKU	Kiisupirote ja juonet serisiittikloriittikivessä	Au > Te > Se > W > As > U	MAGK, SKII, MAGN, PENT, CUKI, COHO, MOHO, PBHO, URAI, SCHE, ILME, AU, KALA, FROH, MELO, MATT, TEVI, RUCK, CAWA
Hangaslampi	Kuusamo	GTK	Kiisupirote ja juonet serisiittikloriittikivessä	-	SKII, MAGK, PENT, CUKI, MAGN, ILME, RUTI, SCHE, MOHO, URAI, AU
Suurikuusikko	Kittilä	GTK	Kiisupirote kvartsiutuneessa breksiassa mafisessa vulkaniitissa ja mustaliuskeessa	Au > As > S > Sb	SKII, ASKI, CUKI, MAGK, RUTI
Iso-Kuotko	Kittilä	GTK	Massiiviset kiisuvyöhykkeet kvartsi-karbonaattijuonissa mafisessa vulkaniitissa	As > Au > Bi	SKII, MAGK, ASKI, CUKI, AU, MALD
Osikonmäki E	Rantasalmi	GTK	Kiisupirote hiertyneessä tonaliitissa	Au > As > Bi > Te > Se	MAGK, CUKI, KUBA, MACK, ASKI, ZNVÄ, AU, BI, HEDL
Osikonmäki W	Rantasalmi	GTK	Kiisupirote hiertyneessä tonaliitissa	Au > As > Bi > Se > Te	MAGK, ASKI, LÖLL, CUKI, KUBA, MACK, KOVE, COHO, ULMA, PBHO, ZNVÄ, STAN, TETR, BOUL, MOHO, BI, BITESE, MALD, HEDL, AU, DYSK, IKUN, ILME, RUTI, SCHE, POWE
Ängesneva	Haapavesi	GTK	Kiisupirote hiertyneessä plagioklaasiporfyyriitissa	As > Au > Bi > Sb > Te > Se	MAGK, ASKI, LÖLL, GUDM, CUKI, ZNVÄ, TETR, AU, AUST, ELEK, HEDL, JOSE, BI, KALA, HESS, EMPL, BIHO, BITES
Kaapelinkulma	Valkeakoski	GTK	Kvartsijuonet hiertyneessä kvartsidioriitissa	Au > As > Bi > Te	MAGK, ASKI, LÖLL, CUKI, HEDL, MALD, AU
Jokisivu	Huittinen	OKU	Kvartsijuonet mafisessa vulkaniitissa	Au > Te > W > Bi	MAGK, CUKI, ASKI, ZNVÄ, AU, WEHR, AUST, SCHE

<sup>1</sup>GTK=Geologian tutkimuskeskus/Geological Survey of Finland, OKU=Outokumpu Finmines Oy.

<sup>2</sup>Rikastuminen suhteessa basaltiin/Enrichment relative to basalt /10/ and new data.

*Mineraalityheneet/mineralabbreviations*: ALTA=altaiitti/altaite, ASKI=arseniikkiisu/arsenopyrite, AU=kulta/gold, AUST=aurostibiitti/aurostibite, BIHO=vismuttihiohde/bismuthinite, BITESE=tuntematon/unknown Bi<sub>2</sub>Te<sub>6</sub>Se, BITES=tuntematon/unknown Bi<sub>2</sub>Te<sub>2,1</sub>S BOUL=bulangeriitti/boulangerite, CAWA=cawazuliitti/cawazulite, COHO=kobolttihiohde/cobaltite, CUKI=kuparikiisu/chalcopyrite, DYSK=dyskraziitti/dyscrasite, ELEK=elektrum/electrum, EMPL=eplektiitti/emplectite, FROH=frohbergiitti/frohbergite, GERS=gersdorffiitti/gersdorffite, GOET=goethiitti/goethite, GUDM=gudmundiitti/gudmundite, HEDL=hedleyiitti/hedleyite, HESS=hessiitti/hessite, IKUN=ikunoliitti/ikunolite, ILME=ilmeniitti/ilmenite, JOSE=joseiitti-B/joseite-B, KALA=kalaveriitti/calaverite, KOVE=covelliini/covellite, KUBA=kubaniitti/cubanite, LÖLL=löllingiitti/loellingite, MACK=mackinawiitti/mackinawite, MAGK=magneettiikiisu/pyrrhotine, MALD=maldoniitti/maldonite, MATT=mattagamiitti/mattagamite, MELO=meloniitti/melonite, MOHO=molybdenihohde/ molybdenite, PBHO=lyijyhohde/galena, PETZ=petziitti/petzite, POWE=powelliitti/powellite, RUCK=rucklidgeiitti/rucklidgeite, RUTI=rutiili/rutile, SCHE=scheeliitti/scheelite, SKII=riikkiikiisu/pyrite, STAN=tinakiisu/stannite, TETR=tetraedriitti/tetrahedrite, TEVI=tellurovismutiitti/tellorobismuthite, TSUM=tsumoiitti/tsumoite, ULLM=ullmanniitti/ullmannite, URAI=uraniniitti/uraninite, VOLY=volynskiitti/volynskite, WEHR=wehrliti/wehrlite, ZNVÄ=sinkkivälke/sphalerite.

260 r/min ja ilmansyöttö 0,3 dm<sup>3</sup>/min. Kullan liukenemista seurattiin ottamalla näytteet 1/2, 2, 5, 10 ja 24 tunnin kuluttua kokeen aloituksesta. Liuosnäytteistä analysoitiin atomiabsorptiomenetelmällä Au, Ag, As, Cu ja Fe sekä titraamalla NaCN-pitoisuus. Syötteen ja jätteen kultapitoisuus analysoitiin fire assay -menetelmällä kahdesta eri osituksesta ja tarvittaessa tehtiin lisämäärytyksiä todellisen keskিপitoisuuden arvioimiseksi. Syötteen arseenipitoisuus analysoitiin atomiabsorptiospektrometrisesti. Yli 2 g/t kulta sisältyviä liuotusjätteitä tutkittiin mikroskoopilla ja elektronimikroanalysaattorilla raepreparaateista, jotka oli valmistettu mety-

leenijodidilla erotetusta raskasfraktiosta (d < 3,31 g/cm<sup>3</sup>).

Tulokset osoittavat, että Ilomantsin malmaiheet sisältävät lähes yksinomaan vapaata kulta saannin ollessa Wardin ja Muurinsuon esiintymissä lähes 100 % (taulukko 2). Rämeপুরon esiintymän huonompi saanti (82 %) saattaa selittyä liuotusnäytteen selvästi karkeammasta raekoosta. Jokisivun ja erityisesti Suurikuusikon näytteistä kulta liukeni hyvin huonosti, mikä jälkimmäisessä tapauksessa viittaa refraktorikullan esiintymisen. Jokisivun jätteestä löytyi useita syöpyneitä kultarakeita osoittaen, että esiintymän karkea kulta ei liennut kokonaan suoritettussa kokeessa. Muissa koh-

**Taulukko 2.** Syanidiliuotuskokeiden tulokset tutkittujen kultaesiintymien koostenäytteistä.  
**Table 2.** Results for cyanide dissolution tests for bulk samples from the gold deposits studied.

Esiintymä Deposit	Kairansydän (Syvyys) Drill core (Depth) (m)	Hienous Fineness (% <32 µm)	NaCN-saanti NaCN recovery (% Au <sub>tot</sub> )	Laskettu syöte Calcul. feed (Au, g/t)	Analysoitu syöte Analysed feed (Au, g/t)	As syötteessä As in feed (%)
Ward I	R 315 (70.00-73.00)	70	97	82	102	<0.01
Rämepuro	IM/HÄ-10 (107.65-110.65)	42	82	6.1	4.8	<0.01
Muurinsuo	R 342 (96.35-97.30)	75	96	5.0	5.3	0.04
Juomasuo	KJ/JS-1,3,30 & 36 (kooste)	60	79	7.1	6.8	0.06
Hangaslampi	R 388 (33.80-44.80)	68	73	7.6	7.9	<0.01
Suurikuusikko	R 434 (79.00-81.00)	47	7	9.3	10	1.0
Iso-Kuotko	R 309 (74.00-76.00)	88	83	5.4	5.6	3.5
Osikonmäki E	R 421 (184.00-189.00)	41	83	18	18	0.04
Osikonmäki W	R 391 (121.00-126.00)	44	76	5.9	5.9	1.6
Ängesneva	R 369 (50.00-56.00)	61	74	6.1	4.8	2.5
Kaapelinkulma	R 325 (66.00-69.00)	49	77	9.2	7.1	2.7
Jokisivu	HU/JS-1 (21.54-23.28)	43	40	66	72	<0.01

teissa saanti oli 73-83 %, mikä voi johtua hilakullasta tai liukene-mattomista kultasulkeumista arsenidi- ja sulfidimineraaleissa. Esi-merkiksi Ängesnevan, Kaapelinkulman ja Osikonmäen jätinäyt-teistä havaittiin mikroskooppitutkimuksessa kultasulkeumia arseni-deissa. Jauhatus hienompaan raekokoon ja/tai syanidipitoisuuden lisääminen voisivat parantaa kullan saantia. Useimmissa näytteissä liuenneen kullan ja jätteen kultapitoisuuksista laskettu syöteen pi-toisuus vastaa analysoitua pitoisuutta (taulukko 2).

Muiden malmimineraalien liukeneminen syanidiliuokseen oli suhteellisen vähäistä pitoisuuksien ollessa kokeen lopussa (24 h): arseeni 0.02-9.4 ppm, kupari 9-140 ppm, rauta 10-50 ppm ja hopea 0,04-4,3 ppm. Syöteen arseenipitoisuus heijastui kohonneina liuoksen pitoisuuksina, ja metallien liukenemisella oli positiivinen korrelaatio syanidin kulutuksen kanssa, joka pysyi kuitenkin koh-tuullisena (0,81-2,3 kg/t). Kalkin kulutus vaihteli välillä 0,60-2,3 kg/t.

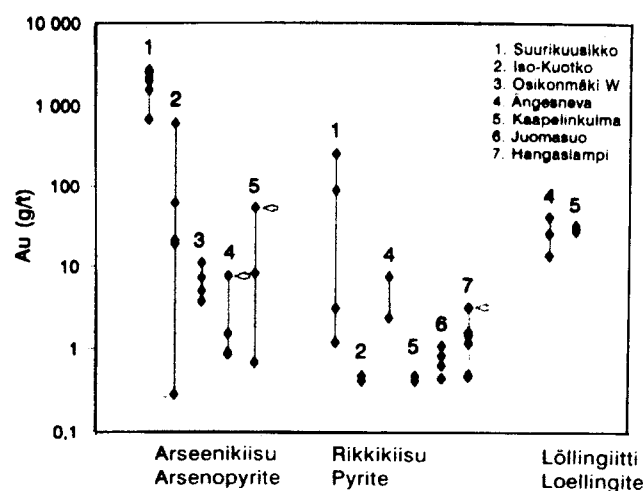
## MÄÄRITYKSET SEKUNDÄÄRI-IONIMASSASPEKTROMETRILLÄ (SIMS)

Elektronimikroanalysaattorilla kullan määräysraja on luokkaa 500-2000 g/t, mikä on aivan liian korkea mineraalin hilaan sitoutu-neen kullan analysointiin. SIMS-laitteistolla kullan määräysraja on olennaisesti parempi vaihdellen välillä 0,2-1 g/t laitteistosta ja ana-lysoitavasta mineraalista riippuen. SIMS-analytikka perustuu näyt-teen pommittamiseen ionisuihkulla, jolloin näytteen pinnasta irtoaa ns. sekundääri-ioneja. Nämä johdatetaan massaspektrometriin ana-lysointia varten /25/. Ionisuihku (lämpimittä 1-100 µm) kaivautuu näytteeseen sen koostumuksesta riippuen nopeudella (1-100 Å/s), mikä mahdollistaa pitoisuuksien vaihtelun määrittämisen syvyyden funktiona. Hyvä syvyyresoluutio onkin eräs SIMS-analytiikan tär-keimpiä ominaisuuksia. Kvantitatiivista hivenalkuaineanalyysiä varten SIMS-laite kalibroidaan istuttamalla hiukkaskiihdyttimen avulla tunnettu määrä kiinnostuksen kohteena olevaa alkuainetta (esim. <sup>197</sup>Au) analysoitavaan mineraaliin tai samaa spesiestä ole-vaan standardimineraaliin käytettäessä ulkoista standardisatiota /26/.

SIMS-analyysit tehtiin Surface Science Western -laboratoriossa yhteistyössä Dr. Stephen Chrissyoulisin kanssa (University of Wes-tern Ontario, London, Canada) Camecan IMS 3f-laitteella. Malmi-

näytteet valettiin grafiitti-epoksi pintahienappeihin, jotka valoku-vattiin ja analysipisteet valittiin etukäteen malmimikroskoopin avulla. Pintahiehet päällystettiin vielä hiilellä sähkönjohtokyvyn pa-rantamiseksi.

SIMS-määrittäksiä tehtiin yhdeksästä kultaesiintymästä pääasial-lisesti arseenikiisusta ja rikkikiisusta, mutta myös löllingiitistä, kuparikiisusta ja magneetikiisusta. Useissa näytteissä havaittiin merkittäviä kultapitoisuuksia mineraalien hilassa: arseenikiisussa 0,28-2700 g/t, löllingiitissä 14-42 g/t ja rikkikiisussa 0,42-260 g/t (kuva 2). Sitä vastoin kuparikiisun (0,27 g/t, kaksi analyysiä) ja magneetikiisun (0,47-1,60 g/t) kultapitoisuudet olivat alhaisia. Tulokset osoittavat kuitenkin suuria vaihteluja paitsi eri esiinty-mien välillä myös saman rakeen sisällä. Esimerkiksi Iso-Kuotkon



**Kuva 2.** Ionimassaspektrometri (SIMS) -määrittäksiin perustuva arseenikiisun, rikkikiisun ja löllingiitin kultapitoisuuksien vaihtelu eräissä Suomen kultaesiintymissä. Symbolit kuvaavat yksittäisiä analyysituloksia yhtenäisen viiva vaihteluvälillä ja nuolin merki-tyissä tuloksissa kulta oli osittain kolloidisessa muodossa.

**Fig. 2.** Gold contents in arsenopyrite, pyrite and löllingite of selected gold occurrences from Finland, based of ionprobe deter-minations. Diamonds refer to individual results; solid line to total variation; and arrows show results with gold partly in kolloi-dal form.

arsenikiisussa kulta esiintyy hyvin epätasaisesti pitoisuuden vaihdelluksessa saman rakeen sisällä 0,28-600 g/t. Kullan heikko liukenevuus syaniidiin Suurikuusikon näytteessä selittyy arsenikiisun (680-2700 g/t) ja rikkikiisun (1,2-260 g/t) hyvin korkeilla kultapitoisuuksilla.

Analyysimateriaalin perusteella näyttäisi siltä, että arsenikiisun ja rikkikiisun esiintyessä rinnakkain hilakullan määrä on selvästi suurempi arsenikiisussa. Tämä ero ei ole niin selvä silloin, kun näytteessä on löllingüittiä, joka esiintyessään arsenikiisun yhteydessä (esimerkiksi Kaapelinkulma ja Ängesneva) sisältää valtaosan hilakullasta. Kolloidista kultaa havittiin esiintyvän paikallisesti Kaapelinkulman ja Ängesnevan arsenikiisussa sekä Hangaslammen rikkikiisussa. Analysoiduissa kuparikiisu- ja magneettikiisuraikeissa ei esiinny hilakultaa.

## YHTEENVETO

Tämä tutkimus osoittaa, että kullan esiintymisessä Suomen kultamalmi-alueissa on huomattavia eroja. Tyypillisimmillään kulta on metallisina rakeina, joiden läpimitta on muutamasta mikrometrinä muutamaan kymmeneen mikrometriin. Joissakin kohteissa kultaa tavataan kuitenkin huomattavasti karkeampana. Kultarakeet esiintyvät yleensä rautakiisujen ja/tai arsenidien raepinnoilla ja sulkeumina sekä silikaattien vilitiloissa usein yhdessä telluridien kanssa. Tämän ns. näkyvän kullan lisäksi voi merkittävä osa kullasta olla sitoutuneena arsenipitoisten mineraalien (arsenikiisun, löllingüitin tai rikkikiisun) hilaan. Kulta näyttäisi rikastuvan erityisesti arsenikiisun tai löllingüittiin, joiden kultapitoisuudet voivat nousta

jopa tuhansiin g/t:ssa. Nyt tutkituista kohteista Kittilän Suurikuusikko edustaa tällaista ääritapausta lähes kaiken kullan piillessä arseni- ja rikkikiisun hilassa. Muissa tutkituissa kohteissa mineraalien hilassa esiintyvä kulta ei edusta suurta osaa kokonaisuudesta. Kultatelluridit, aurostibiitti ja maldoniitti eivät sisällä merkittävää osaa kullan määrästä.

Alustavat syanidiliuotuskokeet antavat viitteitä ns. free milling -kullan osuudesta. Ilomantsin kultaesiintymässä lähes kaikki kulta näyttäisi esiintyvän vapaana ja olevan helposti rikastettavissa. Kuusamossa ei esiinny hilakultaa, mutta osa kullasta on pieninä sulkeumina sulfideissa. Tutkituissa kahdessa Lapin esiintymässä hilakullan osuudet olivat suurimmat, mutta tätä ei voida mitenkään yleistä, koska alueella on hyvin erilaisia malmityyppejä. Esimerkiksi Saattoporan kaivoksessa kulta esiintyy vapaana ja noin kolmas osa saadaan talteen jo painovoimaerotuksella /18/. Etelä- ja Länsi-Suomen esiintymässä on yleisesti osa kullasta hilassa ja sulfidien sulkeumina (17-26 %).

Kullan esiintymistavalla on keskeinen merkitys malmin rikastuksen kannalta, ja toisaalta vaikeasti rikastettavien malmien taloudellinen arvo saattaa olla aivan muuta kuin pelkästä keskipitoisuudesta voisi päätellä. Tämän vuoksi pitäisi erityisesti arsenipitoisten kultamalmi-alueiden kyseessä ollessa aloittaa kullan esiintymistavan tutkimus jo ennen investointia yksityiskohtaiseen syväkaivaukseen. Malmimikroskooppisella tutkimuksella saadaan alustava käsitys kullan esiintymisestä. Syanidiliuotuskokeilla saadaan kvantitatiivinen käsitys free milling -kullan osuudesta, ja SIMS-analytiikalla voidaan selvittää ”näkyvämmän”, hilassa piilevän kullan osuus.

## KIRJALLISUUS — REFERENCES

1. Gaál, G. & Sundblad, K., Metallogeny of gold in the Fennoscandian shield. *Mineralium eposita* 25 A (1991) S104-S114.
2. Puustinen, K., Gold deposits in Finland. *Journal of Geochemical Exploration* 39 (1991) 255-272.
3. Nurmi, P.A., Geological setting, history of discovery and exploration economics of Precambrian gold occurrences in Finland. *Journal of Geochemical Exploration* 39 (1991) 273-287.
4. Nurmi, P.A., Gold exploration in Finland in the 1980s: the perspective towards 2000 A.D. *Current Research, Geological Survey of Finland, Special Paper* 12 (1991) 69-74.
5. Nurmi, P.A., Hartikainen, A., Damsten, M. & Rasilainen, K., Sampling strategies and pathfinder elements in till and rock geochemical gold exploration, Hattu schist belt, Ilomantsi, eastern Finland. *Current Research, Geological Survey of Finland, Special Paper* 10 (1989) 53-58.
6. Ward, P., Härkönen, I., Nurmi, P.A. & Pankka, H.S., Structural studies in the Lapland greenstone belt, northern Finland and their application to gold mineralization. *Current Research, Geological Survey of Finland, Special Paper* 10 (1989) 71-78.
7. Johanson, B. & Kojonen, K., Ore mineralogy of gold occurrences in the Late Archean Ilomantsi greenstone belt, eastern Finland. *Proceedings of the Symposium Brazil Gold'91* (ed. E.A. Ladeira), A.A. Balkema, Rotterdam (1991) 183-186.
8. Kontoniemi, O., Johanson, B., Kojonen, K. & Pakkanen, L., Ore mineralogy of the Osikonmäki gold deposit, Rantasalmi, southeastern Finland. *Current Research, Geological Survey of Finland, Special Paper* 12 (1991) 81-89.
9. Nurmi, P.A. & Lestinen, P., Pathfinder elements in gold exploration based on pilot studies of mesothermal deposits in selected Late Archean and Early Proterozoic terrains. *Proceedings of the Symposium Brazil Gold'91* (ed. E.A. Ladeira), A.A. Balkema, Rotterdam (1991) 751-758.
10. Nurmi, P.A., Lestinen, P. & Niskavaara, H., Geochemical characteristics of mesothermal gold deposits in the Fennoscandian Shield, and a comparison with selected Canadian and Australian deposits. *Geological Survey of Finland, Bulletin* 351 (1991) 101 p.
11. Pankka, H., Puustinen, K. & Vanhanen, E., Kuusamon liuskealueen kulta-koboltti-uraaniesiintymät. Summary: Au-Co-U deposits in the Kuusamo volcano-searmentary belt, Finland. *Geologian tutkimuskeskus, tutkimusraportti* 101 (1991) 53 s.
12. Korkiakoski E.A., Geology and geochemistry of the metakomatiitihosted Pahtavaara gold deposit in Sodankylä, northern Finland, with emphasis on hydrothermal alteration. *Geological Survey of Finland, Bulletin* 360 (1992) 97p.
13. Romberger, S.B., The solution chemistry of gold applied to the origin of hydrothermal deposits. In: L.A. Clark (ed.) *Gold in the Western Shield*. Canadian Institute of Mining and Metallurgy. Special Volume (1986) 168-186.
14. Cathelineau, M., Boiron, M.-C., Holliger, P., Marion, P. & Denis, M., Gold in arsenopyrites: crystal chemistry, location and state, physical and chemical conditions of deposition. In: R.R. Keays, W.R.H. Ramsay & D.I. Groves (eds.), *The Geology of Gold Deposits: the Perspective in 1988*. Economic Geology, Monograph 6 (1989) 328-341.
15. Cook, N.J. & Chryssoulis, S.L., Concentrations of "invisible gold" in the common sulfides. *Canadian Mineralogist* 28 (1990) 1-16.
16. Wagner, F.E., Marion, P. & Regnard, J.R., Mössbauer study of the chemical state of gold in gold ores. *Proceedings of Gold 100, International Conference on Gold, Volume 2* (Extractive metallurgy of gold), South African Institute of Mining and Metallurgy (1986) 435-442.
17. Cabri, L.J., Chryssoulis, S.L., de Villiers, J.P.R., Laflamme, J.H.G. & Buseck, P.R., The nature of "invisible" gold in arsenopyrite. *Canadian Mineralogist* 27 (1989) 353-362.
18. Anttonen, R., Korkalo, T. & Oravainen, H., Lapin kultaa Saattoporan kaivoksesta. Summary: Gold from Lapland — Outokumpu Oy's Saattopora mine. *Vuoriteollisuus — Bergshanteringen* 47 (1989) 104-108.
19. Pekkarinen, L.J., The Hattuvaara gold occurrence, Ilomantsi: a case history. In: V. Lappalainen & H. Papunen (eds.): *Tutkimuksia geologian alalta*. Univ. Turku, *Annales Universitatis Turkuensis C* 67 (1988) 79-87.
20. Nurmi, P.A. & Ward, P., Geology and gold mineralization in the Hattu schist belt, Ilomantsi, eastern Finland. *Current Research, Geological Survey of Finland, Special Paper* 10 (1989) 45-48.
21. Johnson, B. & Kojonen, K., Ore mineralogy of gold occurrences in the Hattu schist belt, Ilomantsi, eastern Finland. *Current Research, Geological Survey of Finland, Special paper* 10 (1989) 49-52.
22. Härkönen, I. & Keinänen, V., Exploration of structurally controlled gold deposits in the central Lapland greenstone belt. *Current Research, Geological Survey of Finland, Special Paper* 10 (1989) 79-82.
23. Kojonen, K., Johanson, B. & Sipilä, E., The Kiimala gold deposit in Haapavesi, western Finland. *Current Research, Geological Survey of Finland, Special Paper* 12 (1991) 75-79.
24. Rinne, R. & Leppinen, J., Kotimaisten kultamalmien syanidiliuotuskokeet. Valtion teknillinen tutkimuskeskus. *Mineraalitekniikan labora-*



torio. Tutkimuslous MIN 125/91 (1991) 7s.

25. *Likonen, J.*, SIMS in material research at the Technical Research Centre of Finland and at the Helsinki University of Technology. In: Pintateknikan päivä. Technical Research Centre of Finland, VTT

MRG B-9104 (1991).

26. *Chryssoulis, S.L., Cabri, L.J. & Lennard, W.*, Calibration of the ion microprobe for quantitative trace precious metal analyses of ore minerals. *Economic Geology* 84 (1989) 1684-1689.

## SUMMARY

### MINERALOGICAL DISTRIBUTION OF GOLD IN SELECTED NEW GOLD PROSPECTS IN FINLAND

Gold has not played any significant role in the mining history of Finland, and it has mainly been extracted as a by-product from massive sulfide deposits. However, systematic exploration during the last ten years based on continuous developments in methodology and research has resulted in the discovery of a number of epigenetic gold deposits and occurrences throughout the country (Fig. 1 and Table 1). The Saattopora gold mine was opened in 1989 and several deposits are currently under detailed evaluation.

This study was aimed at elucidating the detailed mineralogical occurrence of gold, which has a pronounced impact on the selection and effectiveness of various mineral processing techniques of gold ores. Bulk samples from 12 gold deposits representing different ore types in the main gold provinces of Finland were taken from drill-core material, and studied with the microscope, electron microprobe, secondary ion mass spectrometry (SIMS) and cyanide dissolution tests.

Gold typically occurs as small (<50µm) native grains which are commonly associated with Te and Bi minerals (Table 1). A small portion of Au is locally present as electrum, tellurides (petzite and calaverite), maldonite and aurostibite. Native gold mainly occurs: 1) on the surfaces of Fe sulfides and As minerals; 2) as inclusions in As minerals and sulfides; and 3) in interstitial spaces between silicates. Apart from visible gold, SIMS analyses from eight deposits demonstrated significant "invisible" Au contents in the mineral lattices of arsenopyrite (Au: 0.28-2700 g/t), pyrite (0.42-260

g/t) and loellingite (14-42 g/t), whereas pyrrhotine and chalcopyrite did not carry any lattice Au (Fig. 2). The results show extreme variation not only between various deposits but also within single grains. Gold tends to occur preferentially in loellingite at the expense of arsenopyrite and arsenopyrite at the expense of pyrite.

Pilot cyanide dissolution tests indicated that almost all Au in the Late Archean Hattu schist belt in eastern Finland is in free milling form, making their processing simple (Table 2). The deposits studied from the Early Proterozoic Lapland greenstone belt in northern Finland fall into two categories. Those from the Kuusamo area do not carry Au in "invisible" form, but gold occurs partly as tiny inclusions in sulfides. Two As-rich prospects studied from central Lapland contain a marked portion of Au bound in sulfides and As minerals. For example, in the Suurikuusikko prospect approximately 90 % of the total Au occur in the mineral lattices of arsenopyrite and pyrite. The Early Proterozoic Svecofennian deposits in southwestern Finland generally contain some "invisible" Au and gold inclusions in As minerals and sulfides.

The mineralogical occurrence of gold largely determines the most effective mineral processing techniques of the ore, and may also have a pronounced impact on the value of the deposit. In particular, the recovery of Au associated with As minerals as inclusions or in "invisible" form can be complicated. Therefore, a pilot mineralogical study of As-bearing gold discoveries should always be done before investing in detailed drilling programs.

## Hyvät vuorimiehet!

VMY:n toimittama "Kaivos- ja louhintateknikan käsikirja" on myyty loppuun. Jos tämä kirja on käynyt sinulle tarpeettomaksi, niin ottaisimme sen kiitollisina TKK:n opiskelijoille käyttöön. Nämä "tarpeettomat" kappaleet voi lähettää osoitteella:

Raimo Matikainen  
Teknillinen korkeakoulu  
Kalliotekniikan laboratorio  
Vuorimiehentien 2  
02150 Espoo

# Strategiset mineraalit

FT Kauko Puustinen, Geologian tutkimuskeskus, Malmiosasto, Espoo

## JOHDANTO

Mineraalisten raaka-aineiden saatavuudella on ratkaiseva merkitys maailman yleiselle kehitykselle ja hyvinvoinnille. Koska niiden saatavuus ei ole aina ollut itsestään selvää, ovat syntyneet käsitteet kriittinen ja strateginen mineraali. Tässä yhteydessä termillä mineraalit käsitetään kaikkia mineraalisia raaka-aineita, jotka voivat olla joko metalleja, teollisuusmineraaleja tai rikasteita.

Termejä kriittinen ja strateginen käytetään usein yhdessä tai vaihteeltoisesti. Jokin mineraali on maan kannalta kriittinen, mikäli sen saatavuuteen vaikuttava uhka voi aiheuttaa maalle huomattavia vahinkoja /2/. Tarkkaan määriteltynä sellaista mineraalia, jota käytetään sotilaallisiin tarkoituksiin kutsutaan strategiseksi, vaikkakaan strategisen mineraalin ei tarvitse olla kriittinen, eikä päin vastoin. Koska termejä ei aina voi eriyttää, tullaan niistä seuraavassa käyttämään yksinkertaisuuden vuoksi termiä strategiset mineraalit.

Viime vuosien aikana on ollut useita merkittäviä tapahtumia, jotka ovat aiheuttaneet mineraalien saatavuuden heikkenemistä ja hintojen rajuakin nousua /6/. Vuonna 1969 lakot Kanadan nikkeli-kaivoksilla aiheuttivat nikkelin pulan ja hinnan nousua. Vuosien 1978-1979 vaihteessa kapinajoukon hyökkäys Zairen kaivosalueelle sekä vuoden 1973 joulukuusta vuoden 1985 loppuun kestänyt OPEC:in öljykriisi aiheuttivat tunnetut seurauksensa. Zairen tapaus oli sikäli esimerkillinen, että tuohon aikaan Shaban kaivokset tuottivat 60 % maailman koboltista. Tuotannon tyrehtyessä kobolttin hinta nousi hetkessä kymmenkertaiseksi, mutta samalla maailmalla käynnistettiin tutkimusohjelmia korvaavien materiaalien löytämiseksi. Strategisen mineraalin käsite tuli käyttöön varsinaisesti tuona aikana.

Strategisten mineraalien määrittelyn vaikeudesta on todettu, että niillä on useita merkityksiä eri yhteyksissä, ja niinpä mikä tahansa mineraali voi jonakain aikana olla luonteeltaan strateginen /1/. Yleensä se on sellainen mineraali, joka on välttämätön teollisuuden jatkumiselle ja jonka tuotanto ja saatavuus voi syystä tai toisesta vaikeutua. Teollista tuotantoa harjoittavalle yhtiölle strateginen mineraali on sellainen raaka-aine, jota se ehdottomasti tarvitsee tuotantoprosesseissaan.

Läntiset teollisuusmaat ovat enenevässä määrin riippuvaisia strategisista mineraaleista. Neuvostoliitto on sitä vastoin lähes omavarainen strategisten mineraalivarojen suhteen, ja on politiikassaan pyrkinyt kustannuksista riippumatta ylläpitämään omavaraisuuttaan.

Yhdysvaltojen varmuusvarastoja käsittelevä laki määrittelee näihin kuuluvat mineraalit sellaisiksi, joita tarvitaan kansallisessa hätätilassa sotilaalliseen, teolliseen tai muuhun tärkeään käyttöön, ja joita ei omasta maasta löydy tai tuoteta riittävässä määrin edellä mainittuihin tarkoituksiin /2. 13/. Yhdysvaltojen kannalta kymmenen strategisinta mineraalia ovat kromi, koboltti, mangaani, platinaryhmän metallit, alumiini, titaani, vanadiini, fluoriitti, niobi ja tantaali.

Strategisten mineraalien käsite on viime aikoina saanut uuden merkityksen puhuttaessa metalleista, joita käytetään ns. korkean teknologian teollisuudessa, kuten elektroniikkateollisuudessa /1/.

## STRATEGISTEN MINERAALIEN MÄÄRITTELEMINEN JA LUOKITTELU

Koska mineraaliset raaka-aineet näyttelevät keskeistä osaa yhteiskunnan hyvinvoinnin kannalta, strategisuutta ei voida yksinomaan rajoittaa käsittämään niiden sotilaallista arvoa, vaan tarkasteluun on otettava mukaan myös poliittisia ja taloudellisia arvoja. Koska toisaalta kasvava mineraalien kulutus aiheutuu lähinnä maapallon väkiluvun ja teollistumisen kasvusta, on syntynyt selvä tarve löytää uusia raaka-ainelähteitä, vaihtoehtoisia materiaaleja sekä uusia teknologisia menetelmiä ja energiamuotoja.

Yksittäisten mineraalien strategista merkittävyyttä on pyritty määrittelemään kvantitatiivisesti. Luokitteluun tulee kuitenkin pakosta sisällyttää myös subjektiivista arviointia. Strategisen merkittävyyden luokittelu vaihtelee lisäksi sen mukaan mitä strategisuu-den osatekijää pidetään tärkeänä.

Analysoitaessa mineraalien strategisuutta ovat kriteereinä niiden saatavuus ulkomaisista ja kotimaisista tuotantolähteistä sekä mahdollisuudet vähentää kotimaista kulutusta /2/. Ulkomaisten tuotantolähteiden osalta on arvioitava tuotantokatkoksen todennäköisyyttä, merkittävyyttä ja kestoa. Kunkin maan kotimaisten tuotantolähteiden osalta on tarkasteltava omaa kaivostuotantoa ja tuotantokapasiteettia. Esimerkkinä Yhdysvalloissa eräitä mineraaleja louhitetaan omista kaivoksista ja jalostetaan edelleen kotimaassa (kupari), mutta toisia jalostetaan vain ulkomaisista raaka-aineista (alumiini). Kotimaisen teollisuuden mahdollisuus hätätilanteessa laajentaa tuotantoaan riippuu siten raaka-aineiden saatavuudesta, kotimaisesta jalostuskapasiteetista ja siitä nopeudesta millä edelliset voivat kasvaa.

### Maakeskittyneisyys

Eräiden mineraalien tuotanto on maailmassa selvästi keskittynyt vain muutamiin maihin. Tämä osoittaa myös sen miten mineraalien saatavuus voi haavoittua. Maakeskittyneisyyden määrittämiseksi on tässä työssä käytetty pohjana kirjallisuudessa esitettyjä lukuaroja maailman kaivostuotannosta vuonna 1988 /3/. Laskentaperusteena on niiden maiden lukumäärä, joista kunkin maan osuus on vähintään 2,5 % maailman kaivostuotannon kokonaismäärästä. Saadut tuotantokohtaisen maakeskittyneisyyden tunnusluvut on esitetty taulukossa 1 (TMK-luvut). Luvut vaihtelevat välillä 497 (niobi) ja 62 (kadmium).

Keeling /7/ on tarkastellut 36:n materiaalin osalta 31:n maan tuotantoa josta kunkin osuus on vähintään 0.5 % maailman kokonaistuotannosta. Seitsemän tärkeintä maata, joista kunkin osuus on yli 4 % hallitsevat noin 60 % maailman tuotannosta. Nämä maat ovat Neuvostoliitto (18.9 %). Yhdysvallat (9.4 %). Etelä-Afrikka (7.4 %). Kanada (6.5 %). Kiina (6.5 %), Australia (5.8 %) ja Brasilia (4.9 %). Suomi on 27:llä sijalla ja sen tuotannon osuus on vain 0.6 %.

### Tuontiriippuvuus

Tietyn mineraalin maakohtainen tuontiriippuvuus esitetään tavalli-

**Taulukko 1.** Eräiden mineraalisten raaka-aineiden strategisuu-  
den tunnuslukuja. TMK = tuotantokohtainen maakeskittyneisyys  
vuonna 1988 (tämä työ). NIR = Suomen tuontiriippuvuus (%) ku-  
lutuksesta vuonna 1990 (tämä työ). DRP = riittävyysluku /5/. SRL  
= malmivarojen riittävyys vuosissa /3/. TSR = strategisuu-  
sluku /6/. SHT = Suomen huoltotase (Mmk) vuonna 1990 (tämä työ)  
sekä RKZ = riskiluku /14/. Sarakkeissa es = erittäin suuri, hs =  
hyvin suuri, s = suuri ja x = esiintynyt aikaisemmassa vastaavassa  
selvityksessä.

**Table 1.** Ranking of selected mineral raw materials according to  
their strategic importance. TMK = concentration of World mine  
output in 1988 (this work). NIR = Finnish net import reliance as  
a percent of apparent consumption (this work). DRP = depletion  
of resources by 2100 in percent /5/. SRL = static reserve life in  
years /3/. TSR = total strategic rating /6/, SHT = Finnish balance  
of resources (in M FIM) in 1990 (this work) and RKZ = West  
German degree of risk in mineral supply /14/.

Mineraali	TMK	NIR	DRP	SRL	TSR	SHT	RKZ
Niobi	497	100	41	260	22.3	0	206
Platinaryhmän metallit	323	100	58	205	28.8	7	352
Vanadiini	250	100	23	135	17.6	12	334
Zirkonium	229	100	289	78	5.9	3	203
Timantit	192	100	-	19	19.0	38	141
Molybdeeni	186	100	249	58	16.1	48	187
Tantaali	162	100	160	91	13.6	0	229
Magnesium	154	100	0	hs	5.9	31	x
Litium	142	100	56	hs	3.5	2	-
Seleeni	137	-23	161	55	4.6	7	-
Mangaani	136	100	120	98	36.7	110	383
Kromi	133	-59	12	123	41.5	315	422
Antimoni	129	100	402	66	3.2	2	210
Volframi	126	100	236	59	13.9	4	238
Gallium	125	100	5	hs	7.7	0	-
Fosfaatti	124	13	124	hs	-	132	166
Kulta	118	-49	617	22	26.4	157	142
Koboltti	118	-95	150	123	35.3	120	392
Titaani	117	3	102	116	17.7	838	200
Tina	110	100	159	21	21.8	2	x
Rauta	107	9	86	122	9.5	1385	-
Kaoliini	99	100	-	-	-	545	-
Hopea	99	-59	439	19	11.6	21	163
Baryytti	95	100	169	30	-	2	x
Nikkeli	89	28	152	57	18.8	1004	215
Rikki	88	-10	421	24	-	317	-
Magnesiitti	87	100	-	hs	-	10	x
Talkki	86	-27	-	-	-	286	-
Alumiini	81	100	122	217	23.0	282	156
Kupari	75	-23	206	40	28.8	1186	230
Sinkki	70	-81	581	21	14.9	1043	147
Lyijy	69	100	395	20	9.0	59	162
Kadmium	62	-96	400	25	4.5	11	x

sesti prosentteina nettotuonin suhteena kulutukseen. Mikäli mine-  
raalin tuontiriippuvuus on 100 %, maa on täysin riippuvainen tä-  
män mineraalin tuonnista. Käänteisenä käsitteenä tuontiriippuvuus  
on hyvin lähellä omavaraisuusastetta.

Suomen tuotannon ja ulkomaankaupan vuoden 1990 tilastoissa  
on lueteltu 68 tuontivoittoista ja 21 vientivoittoista mineraalista  
raaka-ainetta /12/. Näistä merkittävimmät ovat (suluissa ilmoite-  
taan nettotuonin arvo ja tuontiriippuvuus prosentteina) kuparimal-  
mi (568 Mmk, 83 %), kaoliini (545 Mmk, 100 %), sinkkimalmi  
(471 Mmk, 73 %), rautamalmi (343 Mmk, 98 %), nikkeli (164  
Mmk, 28 %), alumiini (134 Mmk, 100 %), rauta (129 Mmk, 9  
%), suola (106 Mmk, 100 %) ja mangaani (102 Mmk, 100 %).  
Taulukon 1 (NIR-luvut) suurin tuontiriippuvuus nettotuonin arvon  
mukaisessa järjestyksessä on kaoliinilla, nikkelillä, raudalla, alu-  
miinilla ja mangaanilla. Suomen omavaraisuus on siis useiden mi-

neraalien suhteen suhteellisen pieni. Toisaalta Suomen ulkomaan-  
kaupan nettoviennin arvon osalta merkittävimpiä mineraaleja ovat  
sinkki (831 Mmk), kupari (201 Mmk), kromi (174 Mmk), graniitti  
(128 Mmk) ja koboltti (111 Mmk).

Tuontiriippuvuutta voidaan tarkastella myös maakohtaisen tuon-  
tikeskittyneisyyden perusteella. Suomen vuoden 1990 ulkomaan-  
kaupassa metallisten malmien rikasteista zirkoniumin, nikkelin,  
mangaanin ja raudan tuonti tapahtui pääasiassa vain kahdesta  
maasta.

Yhdysvallat on selvästi riippuvainen useiden raaka-aineiden  
tuonnista. Eräitä näistä olivat vuonna 1990 tuontiriippuvuuspro-  
sentteina ilmaistuna arseeni, cesium, grafiitti, kiille, mangaani,  
niobi 100 %, bauksiitti 98 %, teollisuustimantit 92 %, fluoriitti 90  
%, platinaryhmän metallit 88 %, tantaali 86 %, koboltti 85 %, nik-  
keli 83 % ja kromi 79 % /10/. Kromin strateginen merkitys on pie-  
nentynyt oman tuotannon ansiosta verrattaessa siihen, että sen  
tuontiriippuvuus oli vielä vuonna 1980 ainakin 90 %.

Neuvostoliitto on lähes riippumaton strategisten mineraalien saa-  
tavuudesta. Kuitenkin vuonna 1980 sen tuontiriippuvuus oli bauk-  
siitilla 60 %, baryytillä 50 %, fluoriitilla 47 %, koboltilta 43 % ja  
antimonilla 20 % /11/. Omavaraisuuteen Neuvostoliitto on pyrki-  
nyt vaikkapa louhimalla taloudellisesti kannattamattomia malmeja  
ennen kuin tuonut jotain mineraalia ulkomailta.

### Strategisuusaste

Mineraalisten raaka-aineiden yleistä kansantaloudellista merkittä-  
vyyttä voidaan arvioida monin tavoin niiden suhteesta eri teollisuus-  
aloihin.

Goellerin & Zuckerin /51/ tekemä analyysi käsittelee alkuainei-  
den riittävyttä maapallolla verrattuna tunnettuihin mineraalivaro-  
ihin ja väestönkasvuun vuoteen 2100 mennessä. Alkuaineiden ku-  
lunki ilmaistaan vähenemisprosentteina ja lukuarvo yli 100 ilmai-  
see ko. alkuaineen käytetyn loppuun. Taulukossa 1 on tämä strate-  
gisuusaste esitetty DRP-lukuina. Riittävyyslukujen mukaan strate-  
ginen mineraali on kulta, jonka varat vuonna 2100 on louhittu 617  
%:sti. Analyysi on analoginen ns. Rومان klubin arvioille.

Crowson /3/ on laskenut maailman eri mineraalien malmivarojen  
riittävyttä vuosissa. Lähtökohtana on tällöin käytetty vuonna  
1988 tunnettuja malmivaroja ja kulutusta vuoden 2100 mennessä  
siten, että kulutus pysyisi vakiona vuosien 1987-1988 tasossa (tau-  
lukko 1, SRL-luvut). Fosforin, litiumin, harvinaisten maametal-  
lien, berylliumin, galliumin, germaniumin ja magnesiumin varat  
ovat suuret, eikä niiden loppumisesta tämän mukaan olisi vaaraa.  
Muuten SRL-luvut vaihtelevat 19 vuodesta (hopea) 260 vuoteen  
(niobi).

### Numeeriset strategisuu- den tunnusluvut

Hargreavesin & Fromsonin /6/ arvio käsittelee eräiden metallien  
yleismaailmallista strategista riskialttiutta sekä myös eräiden val-  
tioiden riskialttiutta. Saatavuuden riskit on analysoitu osatekijöiden  
avulla, jotka koskevat tuotantoa, kuljetusta, käyttöä ja kauppaa.  
Kukin osatekijä saa arvon 1-10 siten, että luku 1 edustaa vähiten  
riskialtista piirrettä. Lopullisena tunnuslukuna (taulukko 1, TSR-  
luvut) on kullekin metallille yhteenlaskettu strateginen riskiluku.  
Näiden lukujen perusteella strategisin mineraali on kromi (41.5) ja  
vähiten strateginen on antimoni (3.2).

Suomen mineraalisten raaka-aineiden tarvetta ja tämän hetkistä  
tasapainoa voidaan arvioida tuotannon ja ulkomaankaupan tilasto-  
jen valossa. Yksi laskentatapa on kokonaistarjonnan ja kokonais-  
kysynnän tase eli huoltotase. Se osoittaa myös mistä lähteestä  
raaka-aineet ovat peräisin. Kokonaistarjonta jakautuu kotimaan  
tuotantoon ja tuontiin. Kokonaiskysyntä jaetaan vastaavasti omaan  
kulutukseen ja vientiin. Tasapainon vallitessa kokonaistarjonnan ja  
kokonaiskysynnän arvot ovat laskennallisesti yhtä suuret. Suomen  
huoltotaseen mukaisen strategisuu-  
den (taulukko 1. SHT-luvut)



määrittämiseksi on tässä analyysissä käytetty pohjana lukuarvoja vuodelta 1990 /12/ Huoltotaseen suurimmat arvot ovat 1385 Mmk (rauta), 1186 Mmk (kupari), 1043 Mmk (sinkki) ja 1004 Mmk (nikkeli) sekä pienimmät alle 1000 mk (esim. niobi). Kun huoltotase on laskettu usean vuoden ajalta, sen avulla voidaan tehdä arvioita huoltotaseen mahdollisista muutoksista.

### Markkinamallit

Markkinamallien käyttö on ehdottomasti luotettavin strategisten mineraalien luokittelutapa /2, 4/. Niillä voidaan poistaa muiden luokitteluun käytettyjen menetelmien haittakohtia, mutta se vaatii runsaasti tietojen hankkimista ja käsittelyä. Markkinamallien lähtökohtana ovat mineraalikohtaiset tekniset ja taloudelliset tiedot, jotka koskevat kotimaista ja ulkomaista tarjontaa, kysyntää ja varastoja. Laaditut rahanmääräiset kriittisyysindeksit suhteutetaan kriisin syntymisen todennäköisyyksiluvuilla. Tulosten avulla voidaan ennakoida markkinatilannetta normaalioloissa ja kriisin syntyessä.

Saksan liittotasavallassa on tehty selvitys mineraalien raaka-ainehuollosta /14/. Raaka-ainekohtaisen riskiluvun määrittämisessä on analysoitu 32:n raaka-aineen vuoriteollinen riski (malminvarat, tuotanto ja sivutuotteet), 52:n maan poliittinen riski ja kunkin mineraalin osuus maailman tuotannosta. Kysynnän elastisuuteen vaikuttavat korvaavat materiaalit, romun käyttö ja materiaaleja säästävät teknologiat. Kysynnän ja tarjonnan välinen loppumisriski määrittää kokonaishuollon. Lopputuloksena on laadittu kriittisyysjärjestys (taulukko 1, RKZ-luvut), jonka mukaan Saksan liittotasavallan raaka-ainehuollon kannalta tärkein mineraali on kromi (422), jota seuraavat koboltti, mangaani, platina, vanadiini ja palladium. Vähiten kriisialtis mineraali on selvityksen mukaan kulta (142).

### MINERAALIPOLIITTISET RATKAISUT

Materiaalien kriittisyyden ja strategisuuden ongelmien ratkaisussa on käytetty useita poliittisia ja lainsäädännöllisiä keinoja, joita ovat esim. mineraalipolitiikka, varmuusvarastot, kotimaisten tuotannon edistäminen, kulutuksen vähentäminen, mineraalien uudelleenkäyttö, tutkimus- ja kehitystyö, tuonti- ja vientitariffit sekä verotus /2/.

### Mineraalipolitiikat

Ruotsin mineraalipolitiikan laatimista varten on laadittu ennuste metallisten raaka-aineiden tuotannosta ja kulutuksesta vuoteen 2000 /8/. Maan turvallisuuden kannalta strategisia mineraaleja ovat tärkeimpinä molybdeeni, volframi ja koboltti sekä toiseksi mangaani, kromi, nikkeli ja titaani.

Maailman suurimmassa teollisuusmaassa Yhdysvalloissa on mineraalien saatavuus todettu merkittäväksi. Kongressin säätämässä laissa /9/ määritellään sen piiriin kuuluvat materiaalit ja toteutustapa. Lähtökohtana todetaan, että materiaalien saatavuus on maan turvallisuuden, taloudellisen hyvinvoinnin ja teollisen tuotannon kannalta tärkeää. Jälkeenpäin on kuitenkin ollut todettavissa, että lain täytäntöönpano on käytännössä jäänyt puolitehen.

Kehitysmaat ovat mineraalipolitiikassaan keskittyneet turvaamaan omia raaka-ainevarojaan sekä pyrkineet niiden hyödyntämisessä saamaan mahdollisimman suuren tuoton /4/. Yksityiskohtina tällaisista toimenpiteistä ovat kaivosyhtiöiden kansallistaminen, yhteistyösopimukset ja pienten kaivosten kehittäminen.

### KIRJALLISUUS — REFERENCES

1. *Burke G.*, The new strategic minerals. Raw Materials Report 7 (1990), 11-15.
2. *Clark, J.P. & Reddy, B.*, Critical and strategic materials. Carr. D.D. & Herz, N. (eds.), Concise Encyclopedia of Mineral Resources. Pergamon Press, Oxford 1989, 88-94.
3. *Crowson, P.*, Minerals Handbook 1990-91. Stockton Press, New York 1990.
4. *Gocht, W.R., Zantop, H. & Eggert, R.G.*, International Mineral Economics. Springer-Verlag, Berlin 1988.
5. *Goeller, H.E. & Zucker, A.*, Infinite resources: The ultimate strategy,

### Varmuusvarastot

Useat valtiot ovat pyrkineet vähentämään katkoksia avainasemassa olevien raaka-aineidensa saatavuudessa. Siten ne ylläpitävät strategiseksi katsomiensa mineraalien varmuusvarastoja. Vielä muutama vuosia sitten strategisten mineraalien merkitys ja valikoima määrytyi verrattaessa niitä vain maan sotilalliseen turvallisuuteen. Varmuusvarastojen puhtaasti sotilallaallinen merkitys on kuitenkin joka maassa selvästi vähentynyt.

Yhdysvaltojen varmuusvarastoja ei saa käyttää liiketaloudellisten päämäärien hyväksi ja materiaalien määrän tulisi vastata kolmen vuoden kriisitilanteen tarvetta /11/. Yhdysvaltojen varmuusvarastojen merkityksestä ja niihin investoitujen materiaalien määräästä käydään yhä jatkuvaa keskustelua.

Varmuusvarastoja on Yhdysvaltojen ohella ollut esim. seuraavissa maissa: Ranska (kupari, lyijy, volframi, kromi). Saksan liittotasavalta (kromi, koboltti, mangaani, asbesti), Japani (nikkeli, kromi, alumiini) ja Iso-Britannia (vanadiini, kromi, mangaani) /4, 7/.

### LOPPUPÄÄTELMÄT

Tässä työssä esitetyt eri mineraalien suhteelliset strategisuuden tunnusluvut poikkeavat luonnollisesti toisistaan. Kysymys on siis siitä, miltä näkökannalta esim. yleistä strategisuutta, kriittisyyttä tai riittävyyttä tarkastellaan. Niinpä kolme tärkeintä mineraalia ovat eri tunnuslukujen perusteella seuraavat:

- Tuotantokohtainen maakeskittyneisyys: niobi, platinaryhmän metallit ja vanadiini
- Suomen tuontiriippuvuus: kuparimalmi, kaoliini ja sinkkimalmi
- Suomen nettoviennin arvo: sinkki, kupari ja kromi
- Suomen metallisten rikasteiden tuontikeskittyneisyys: zirkonium, nikkeli ja mangaani
- Yleismaailmallinen riittävyys: kulta, sinkki ja hopea
- Yleismaailmallinen kaivostuotannon riittävyysvuodet: hopea, timantit ja lyijy
- Yleismaailmallinen strategisuus: kromi, mangaani ja koboltti
- Suomen huoltotaseen arvo: rauta, kupari ja sinkki
- Saksan liittotasavallan loppumisriski: kromi, koboltti ja mangaani

Strategisuuden tunnuslukuja voidaan käyttää arvioitaessa eri mineraalien arvoa ja merkittävyyttä kansantalouden kannalta tai ne ovat apuna malminetsinnän ja raaka-ainepolitiikan suunnittelussa. Lähes poikkeuksetta Suomen ulkkomaankaupan ja tuotannon metalliset rikasteet ja metallit ovat yleismaailmallisesti erittäin strategisia.

Voidaan olettaa, että useimpien mineraalien varat eivät tule maailmanlaajuisesti loppumaan. Vaara on kuitenkin siinä, että malminetsintään ja kehitystoimintaan investoidaan riittämättömästi. Monissa läntisissä teollisuusmaissa kaivostoiminta on useiden kymmenien vuosien ajan ollut hyvin laajamittaista ja rikkaat malmiesiintymät ovat suurelta osin louhittu loppuun. Jäljellä olevat esiintymät ovat todennäköisesti kooltaan joko pieniä, köyhiä, kompleksisia, sijaitsevat syrjäisillä paikoilla tai omaavat useita empiireitä.

- Science 223 (1984), 456-462.
6. *Hargreaves, D. & Fromson, S.*, World Index of Strategic Minerals. Gower Publishing, Aldershot 1983.
  7. *Keeling, B.*, Essential Raw Materials. The Economist Intelligence Unit. Spec. Rep. 1106, London (1988).
  8. Malmer och metaller. Delbetänkande av mineralpolitiska utredningen. Statens offentliga utredningar 1979:40, Stockholm 1979.
  9. Materials Policy, Research and Development Act. U.S. Congressional Record (1979), H10319-H10321.
  10. *Morgan, J.D.*, Introduction. Min. Eng. 43 (1990), 511-512.
  11. *Morgan, J.D.*, Future demands of the United States for strategic minerals. Mangone. G.J. (ed.), American Strategic Minerals. Crane & Russak, New York 1984, 59-83.
  12. *Puustinen, K.*, Metallien ja teollisuusmineraalien vuoden 1990 hinta, tuotanto ja ulkomaankauppa. Geologian tutkimuskeskus. Raportti M10/91/2 (1991).
  13. *van Rensburg, W.C.J.*, Strategic Minerals, Vol. 1. Prentice-Hall, Englewood Cliffs 1986.
  14. *Schmidt, H.* et. al., Versorgungslage bei Rohstoffen. Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe. Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung. Institut zur Erforschung technologischer Entwicklungslinien; Berlin, Hamburg, Hannover 1986.

## SUMMARY

### STRATEGIC MINERALS

Mineral raw materials play a significant role in the World's prosperity. Because of the increasing consumption of minerals resulting from an expanding world population and greater industrialization, there is a crucial demand for the discovery of new resources. As a result the concept of strategic minerals has born. In general, a mineral is considered strategic by a country if failure events involving it threatens to inflict serious damage on the nation.

Many criteria have been proposed for analyzing the degree of significance of strategic minerals. They include the availability of foreign supplies and availability of domestic supplies. Also several methods for ranking the relative importance of different minerals

have been used. These include the use of concentration of world mineral output, import dependence, various ratings of strategicity and resource depletion, input-output models of a national economy and market models. A market model for a mineral can be constructed using technical and economic information on domestic and foreign supply, demand and inventory behavior. The major drawback of this approach is its large information requirements.

The various mineral rankings differ from each other, depending how the strategicity is considered. According to the balance of resources the most significant mineral raw materials in Finland are iron, copper, zinc, nickel, titanium, kaolin, chromium and talc.



**STEEL GOING  
STRONG**



## Raudanvalmistuksen tekniikka:

Onko perinteinen kuva sulatusmenetelmien historiallisesta kehityksestä ollut väärinkäsityksiin perustunut olettaimus?

Diplomi-insinööri Lars J. Hukkinen, FUNDIA AB, Åminnefors

Vanhastaan on raudanvalmistuksen teknis-historiallisesta kehityksestä vallinnut se käsitys, että ns. primitiivinen raudanvalmistus suoraan malmista taottavaksi meltoraudaksi edusti alkeellisempää tekniikkaa, jonka perusrajoitus oli puuttuva tekninen kyky aikaansaada riittävän korkeita lämpötiloja. Saman käsityksen mukaan sulaa raakaraudaa (takkirautaa) tuottava masuuni edusti kehittyneempää ja uudempaa tekniikkaa korkeamman kuilu-uuninsa, suuremman kokonsa, korkeampien lämpötilojensa, vaativamman tulenkestävän vuorauksensa ja suurempitehoisen puhaltimensa perusteella. Myös takkiraudasta ahjossa teräkseksi melloitettu tuote oli tasaisempaa ja kuonattomampaa kuin primitiivirautaa. Pidettiin loogisena, että näiden kahden valmistustekniikan välillä oli jatkuva pienin portain etenevä kehityskaari, joka lopulta johti 1800-luvun suurteollisiin sulan teräksen valmistusmenetelmiin.

Tämä käsitys on arvovaltaisesti kirjattu L.Beckin laajaan raudan historian kuvaukseen *Geschichte des Eisens. Bd.I-V (1884-1903)*. O.Johannsen ei omassa myöhemmässä *historiateoksessaan Geschichte des Eisens (3.Aufl.1953)* asettanut aivan yhtä varmalle kannalle. Ruotsissa julkaisi Herman Sundholm, vuori-insinööri ja ruukinpatruuna, 1920-30-luvuilla useita osmund-raudaa ja masuunin Ruotsiin tuloa koskevia kirjoituksia, jotka katsottiin poikkeaviksi ja siis pilkan arvoisiksi.

Vuonna 1990 julkaistiin Ruotsissa merkittävä teos tästä aiheesta, Nils Björkenstamin kirjoittama ja Jernkontoretin Prytzin rahaston tuella painettu kirja "Västeuropeisk järnframställning under medeltiden". Tämä 191-sivuinen teos ilmestyi samanaikaisesti kahdessa julkaisusarjassa: Stockholm Archaeological Reports Nr 25 ja Jernkontorets Bergshistoriska Skriftserie Nr 26. Kirjoittaja on vuori-insinööri, jolla on vahva teoreettinen ja teollinen tausta teräsmetallurgiasa. Viimeksi hän on toiminut Jernkontoretin bergshistoriska utskott 90:n puheenjohtajana. Hän on ollut vahvana vaikuttajana mm. Norbergin vuorikunnassa sijaitsevan Laphyttanin keskiaikaisen masuunin arkeologisen tutkimuksen aikaansaamisessa.

Björkenstamin teos on pääosin ruotsalaiseen, saksalaiseen ja itävaltalaiseen dokumenttiaineistoon sekä laajaan metallurgiseen tietämykseen pohjaava johdonmukainen esitys aiheesta, ts. Euroopan raudanvalmistuksessa keskiajalla tapahtuneesta teknisestä kehityksestä ja sen suunnanvalinnasta eri alueilla. Yritän seuraavaan kiteyttää Björkenstamin keskeiset päätelmät sekä tuoda esille päätelmien mieleen tuomia ajatuksia Suomen raudanvalmistuksen historiasta ja sieltä saaduista kokemuksista. Tukevatko ne Björkenstamin esittämää teoriaa?

Björkenstam toteaa yleisesti keskiajan raudanvalmistuksen kehitystä koskevat kirjalliset dokumentit erittäin vähäisiksi. Raudanvalmistuspaikkojen arkeologinen tutkimus näyttää tuovan konkreettisimman ja luotettavimman tiedon, vaikka jäänteiden tekninen tulkinta usein tuottaakin vaikeuksia. Tietyt kirjalliset peruskuvaukset kiertävät eri versioina ja muuntuneina käännöksinä monessa vanhassa "tutkimuksessa". Saman seikan on myös Eevert Laine todennut teoksessaan Suomen vuoritoimi 1809-1884. Esim. Lars B. Schultzen 1732 Vuorikollegiolla jättämä matkakuvaus Taalainmaan suomalinsulatuksesta toistuu niin Swedenborgin De Ferro-teoksessa kuin Turun akatemian väitöskirjoissakin, yleensä lähde-

viittauksitta. Toinen yleisesti kiertävä kuva ja kuvaus on peräisin Evenstadin norjalaisesta suorautauunista vuodelta 1782.

Björkenstamin teorian lähtökohdalla on Euroopan eri alueilla saatavilla olleiden rautamalmien koostumus ja sen ratkaiseva vaikutus alueelle kehittyneen raudanjalostusmenetelmän periaatteen ja käytäntöön. Erityisen ratkaisevia ovat olleet malmin fosforipitoisuus, rautapitoisuus sekä sivukiven koostumus.

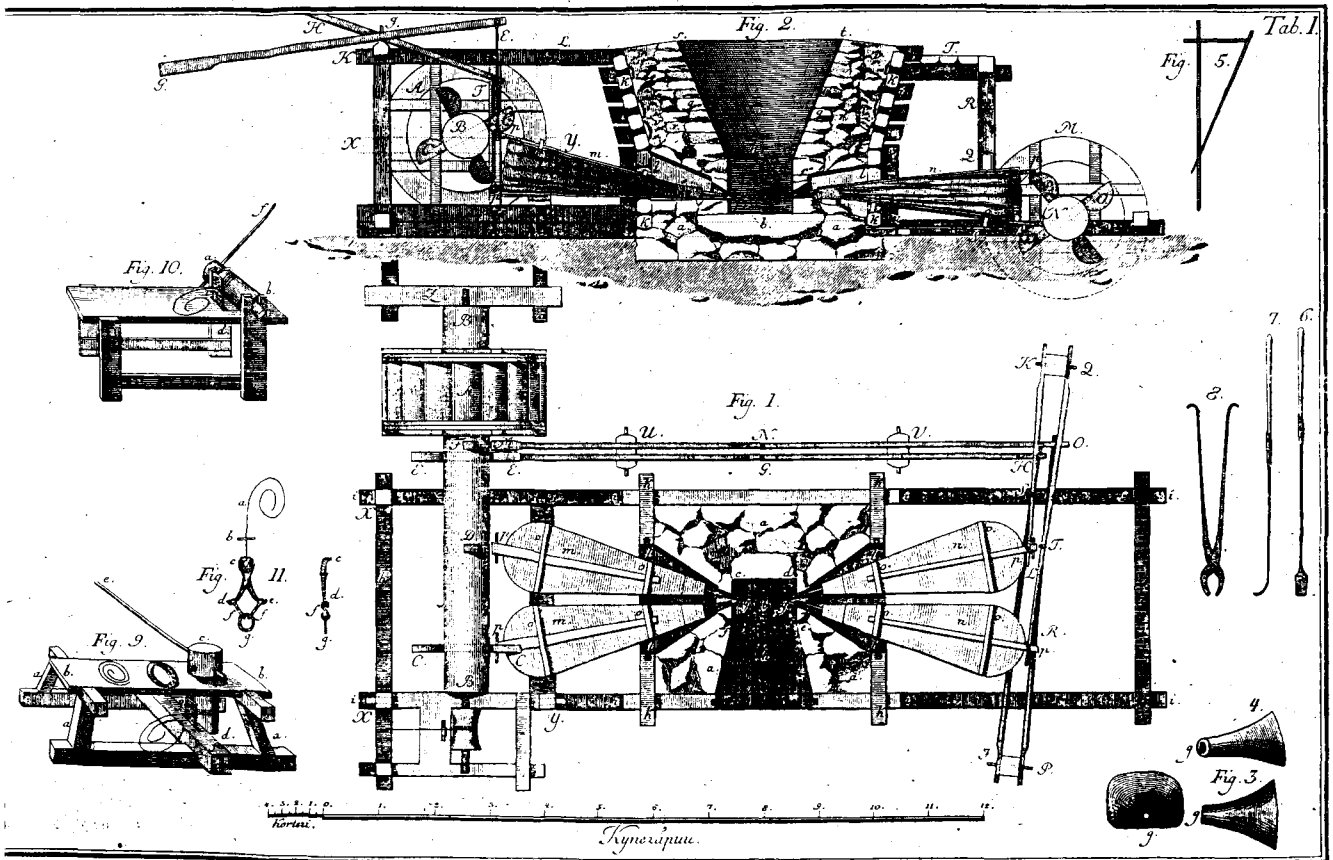
Malmin fosforipitoisuus ensisijaisesti ratkaisee prosessin valinnan: sulaa takkirautaa tuottavassa masuuniprosessissa fosfori pelkistyy tehokkaasti metallifaasiin, kun taas alhaisemman lämpötilan harkkouuniprosessissa fosfori pysyy enimmäkseen kuonassa. Koska keskiajan Euroopassa (päävastoin kuin esim. Kiinassa, jossa valurautatekniikka oli kehittyntä jo 400-luvulla e.Kr.) takkirautaa ei arvostettu valurautana, vaan se oli yleensä vain teräksenvalmistuksen raaka-ainetta, fosforipitoinen takkirauta katsottiin arvottomaksi. Ahjomellotuksessa sellaisesta takkiraudasta syntyi kylmäaurasta ja siten käyttökeltvotonta terästä. Vasta 1800-luvun emäksiset sulateräsmenetelmät, Thomas-konvertteri ja emäksinen Siemens-Martin-uuni, antoivat fosforipitoiselle raakaraudalle käyttökelpoisuuden teräksen raaka-aineena.

Keskiajan raudanjalostajien suhtautuminen hiilipitoiseen sulaan raakaraudaan oli kuin kuparinsulatattajien suhde kuparikiveen. Kuparinsulatustahan on raudansulatusta vanhempi tekninen menetelmä. Eräissä 1400-luvun ruotsalaisissa kirjoituksissa takkirautaa kutsutaankin "skärsten"-nimellä. Sama käsitys Saksasta on kirjattu Beckin teokseen. Vanhat raudansulatattajat tajusivat, että tämä sula ja raskas metallinomainen "kuona" sisälsi runsaasti rautaa, ja siksi he palauttivat "ensisulatteen" (Rohstein, skärsten, "rautakivi") takaisin pelkistysuuniin.

Björkenstamin tekemän yhteenvedon mukaan Länsi-Euroopan n. 20000 miljoonan tonnin rautamalmivaroista vain 5% voidaan katsoa niukkafosforimalmeiksi. Niillä on myös sattunut olemaan keskitasoa suurempi rautapitoisuus ja tavallisesti suuri tiheys ja sitä kautta vaikeampi pelkistettävyyttä. Sellaisten malmien alueella on siis pelkistys vaatunut riittävän kuumuuden aikaansaavan korkean kuilu-uunin ja voimakkaan mekaanisen puhaltimen sekä toisaalta uunista saatu juokseva "ensisulate" on antanut melloitusahjossa kellovasta terästä. Jos fosforipitoisuutta 0,1%P pidetään niukkafosforisuuden ylärajana ja vain suurehkot, varhain louhittavissa olleet esiintymät otetaan lukuun, masuuniprosessin käyttöedellytykset ovat olleet Keski-Ruotsissa (mm. Bergslagen), Saksan Westfaleniassa ja Siegerlandissa, Espanjan Baskimaassa (Bilbao), Itävallan Steiermarkissa, Italian Bergamossa ja Bresciassa sekä Belgian valloialueella Maasissa ("mine"-malmi, louhittu loppuun 1600-luvulla).

Näistä mahdollisista masuuniprosessin alueista Baskimaassa kehittyi erityinen teräksen suoravalmistuksen menetelmä, ns. katalaani-taonta. Tuotantoyksiköt olivat pieniä ja lähellä merenrantaa ja sata-maa sijaitsevan kaivoksen yhteydessä. Erityistä näissä oli vedenkäytön säästeliäisyys palkeissa ja vasaroissa. Muutoin laitteiden tekninen laatu oli kuvausten mukaan heikohko, mutta tuote oli huippulaatua.

Itävallassa Steiermarkin ja Kärntenin alueilla kehittyi erityinen



Kuva teoksesta (C. Rinman:) "Lyhykäinen Neuwo Järwen- ja Suon-Malmien sulattamisesta Puhallus Uuneisa" (Tab. I).

"Yxi erinomainen kuvaus (ritning), yhden niin kutsutun kahdenkertaisen puhallus uunin päälle, eli jolla on kaxi paria nahka palkeita, jotka puhaldawat wastuxin samasa uunisa."

"Särskild Ritning öfver en så kallad dubbel blästerugn eller som har tvänne par läderbäljor, hwilka bläsa midt emot hwarandra uti en och samma ugn."

"Design of a blowing furnace for direct reduction of malleable iron, having two pairs of leather bellows blowing from opposite sides into the furnace."

uunityyppi, "Stuckofen" (erilainen kuin Saksassa käytetty "Stückofen"). Tämä oli Itä-Alppien rinteillä sijainnut korkea kuilu-uuni, jota käytettiin paikallisen sideriittipalamalmin panok-sittaiseen pelkistykseen suoraan taottavaksi raudaksi. Prosessissa syntyi sekä niukkahiilinen kiinteähkö Stuck (Wulf, Maass, Geuss), että vaihtelevasta malminlaadusta riippuva määrä runsaampifosforista raakarautaa sivutuotteena. Uunin korkeus ja palkeiden teho oli sellainen, että koko tuotanto olisi voitu ajaa masuunin tapaan sulaksi raakaraudaksi, mutta sitä ei tietoisesti haluttu. Paras osa tuotannosta eli niukkasfosforinen Stuck haluttiin mahdollisimman suurena, koska siitä syntyi kuuluisa ja hinnakas Steiermarkin teräs. Sivutuoteraudassa oli usein fosforia 0,1% ja siitä melloitettu teräs kelpasi vain toisarvoiseen käyttöön.

Ruotsi, Saksa, Italia ja Belgia olivat niitä maita, joissa edullinen malmityyppi johti kukoistavaan masuunituotantoon. Masuunit olivat puuhiiltä ja palamalmia käyttäviä. Tiiviit malmit pasutettiin yleensä pelkistyvyyden parantamiseksi. Hyvin pelkistyvien malmien alueilla voitiin käyttää pienimuotoista matalaan harkkouuniin perustuvaa tuotantotapaa, ei senvuoksi, että masuuniteknikka olisi ollut tuntematon, vaan investointikustannusten ja markkinoiden pienuuden vuoksi.

Belgian kohdalta voidaan todeta, että kun Maasin alueen parhaat "mine"-malmit oli 1600-luvulla käytetty loppuun, syntyi suuri valloonalueen työttömyys. Tämän ansiosta oli ammattitaitoisia valloinseppiä runsaasti saatavilla Ruotsiin Upplannin ruukkeihin. Myöhemmin heitä tuli myös Suomeen, esim. Antskogin ruukkiin.

Edellä mainittiin malmin sivukiven merkitys prosessityypin valinnalle. Hyvin toimiva masuuniprosessi edellyttää alhaisessa läm-

pötilassa sulavaa juoksevaa kuonaa, joka muodostaa masuunin pohjalle pesään kertyvän raakarautasulan pinnalle suojaavan tiiviin peitesulattteen. Masuunipanoksesta pelkistyvät ja hiilettyvät raakarautapisarat tippuvat pesärautaan läpi kuonasulan, joka suojaaa raakarautasulaa uudelleenhapettumiselta heti yläpuolella olevan puhallushormin ilmavirrassa. Keskiajan masuunien vuoraus oli aina hapan ja niin myös masuunikuona oli silikaattipainotteinen. Jos malmin sivukivi oli kvartsi- ja silikaattipitoinen, masuunikuonasta muodostui itsestään oikeanlainen. Muutoin jouduttiin lisäkustannuksin parantamaan panoksen kuonan koostumusta kuonaaavilla aineilla, kuten kvartsilla.

Björkenstam korostaa, että myös niillä alueilla, joilla malmin koostumus ei ollut masuuniprosessille otollinen, uunitekninen taso oli täysin riittävä masuunin rakentamiselle: vesipyöräkäyttöisiä voimakkaita palkeita oli, tulenkestävistä vuorausaineista oli olemassa tieto ja saatavuus, uunien rakennetta koskeva tieto kulki maasta toiseen, joskin nykyistä hitaammin.

On syytä muistaa, että kemialliset analyysimenetelmät ja sitä kautta tieto eri välituotteiden koostumuksesta ovat varsin myöhäisiä innovaatioita. Keskiajan rautamestarit toimivat vain käytännön kokemusten kehittämän perinteen mukaan. Valinnat perustuivat syntyvän tuotteen taottavuuteen, karkaistavuuteen sekä lujuteen, sitkeyteen ja teränpitävyyteen. Miksi tietyt valinnat johtivat parempaan tulokseen, sen on vasta paljon myöhäisempi metallurginen teoria selittänyt.

Suomen malmivarat Björkenstam toteaa harvoiksi ja vähäarvoisiksi (edellämainitussa masuunikäyttömielessä). Tämän vuoksi malmina käytettiin kauan lähinnä järvi- ja suomalmeja. Masuunie-



dellytysten puolesta Suomi ei siten ole otollinen tämän tekniikan varhaiselle käyttöönotolle. Kuinka raudanvalmistuksen tekninen kehitys Suomessa on tässä valossa tarkastellen sujunut?

Ennen Lohjalla sijaitsevan Ojamon kaivoksen käyttöönottoa 1500-luvulla valtaosa maan raudanvalmistuksesta perustui järvi- ja suomalmien ja ns. talonpoikaosuunien eli harkkouunien käyttöön. Oletettavasti joillakin alueilla on käytetty malmina myös vuorimalmia. Näin ilmeisesti tehtiin maan ensimmäisessä teollisessa mitassa toimineessa harkkohytissä Siuntion Kvarnbyssä, jossa Suiitian linnanherro Erik Fleming ja myöhemmin hänen leskensä harjoittivat raudanvalmistusta suunnilleen vuosina 1540-1560. Malmi saatiin pääosin Ojasta. Alueella olevan kuonan määrästä päätellen tuotanto ei ollut aivan vähäistä. Ojamon malmin käyttö jatkui 1560 Juhana Herttuan perustamassa ensimmäisessä Mustion ruukissa (mahdollisesti harkkouuni), jonka käynti jäi kuitenkin lyhytaikaiseksi.

Järvi- ja suomalmien sijainti painottuu Savoan ja Pohjois-Karjalaan. Tämän laajan alueen ulkopuolella on erillisenä saarekkeena Pusulan, Pyhäjärven, Lopen, Tammelan ja Somerniemen muodostama alue, jonka järviessä muodostuu järvimalmia. Järvimalmin eduksi on todettu mm. halvemmat nostokustannukset pienimuotoiseen vuorimalmin louhintaan verrattuna, hyvä pelkistyvyys sekä yleensä varsin runsas mangaanipitoisuus. Usein saattoi malmissa olla puolta raudan määrää vastaava pitoisuus mangaania. Haittoina olivat pienehkö metallin kokonaispitoisuus, suurehko rikki- ja varsinkin fosforipitoisuus sekä pitkät kuljetusmatkat. Pienimuotoiseen talonpoikaiseen raudanvalmistukseen järvimalmi kuitenkin antoi riittävät edellytykset. Rantasalmen ja Juvan välillä sijaitseva Tuusjärvi oli ilmeisesti Olavinlinnan aseepien ainesraudan lähde. Rantasalmen pitäjän historiassa on maininta suurista kuonakasoista järven lähellä. Viime aikoina on myös Pohjois-Suomen talonpoikaishytien jäänteitä tutkittu. Tekniikan valinnasta voidaan todeta, että näissä järvimalmihteissä käytetty sulatusmenetelmä oli Björkenstamin teorian mukaan aivan oikea. Pienimuotoisessa matalassa uunissa lämpötila ei kohonnut sulan raakauraudan muodostumiseen tarvittavaksi, jolloin malmin fosfori jäi kuonaan. Saatu harkkoteräs oli hyvin taottavaa eikä kylmäaurasta ja runsas mangaanipitoisuus kompensoi mahdollisen rikistä johtuvan punahaurauden.

1800-luvun rautateollisuuden kehitys antaa siten vahvistuksen sille, että keskiajan ja uudenajan vaihteessa olisi masuuniprosessi sovellettu järvimalmiin ollut tuhoontuomittu valinta Suomessa. Kehityksen tausta oli seuraava:

Ruotsalainen vuorimestari Carl Rinman, suuren Sven Rinmanin poika, teki 1792 laajan kiertomatkan Itä-Suomen järvimalmialueiden talonpoikaishytteihin. Matkan tuloksena ilmestyi Tukholmassa

1794 painettu raportti "Berättelse, Ingifwen til Högl.Kgl.Bergs-Collegium, Om en, Uppå Dess Befallning, Uti Sawolax och Carelen, Werkstäld Förrättning, År 1792." sekä samana vuonna myös käytännön opas "Korrt Underrättelse Om Sättet att smälta Sjö- och Myrmaalmer Uti Blästerugnar.". Ilmeinen tarkoitus oli aktivoita kyseistä tuotantotapaa Suomessa, koska opaskirja ilmestyi jo 3 vuoden kuluttua suomeksi: "Lyhykäinen Neuvo Järven- ja Suon-Malmien sulattamisesta Puhallus Uuneissa." Stockholmissa, Prän-tätty Kuning:sesa Suomalaisesa Präntisä Wuonna 1797. Tällä teoksella saattoi olla uraauurtava merkitys mm. raudanjalostuksen suomenkielisen teknisen nimistön muistiinkirjaamisessa ja ehkä myös luomisessa. ( Seuraava vastaavanmerkityksinen suomenkielinen kirja ilmestyi runsaat 100 vuotta myöhemmin Kuopiossa, tällöin nimittäin Kuopion teollisuuskouluun 1889 perustetun metallurgisen osaston opettaja, insinööri Gust.A.Abrahamsson julkaisi raudan metallurgian luentonsa kolmena vihkosena ja kuvaliitesalkkuna vuosina 1900-1902. Tekijä toimi myöhemmin Aartovaaranimisenä Teknillisen korkeakoulun analyyttisen kemian lehtorina.)

Rinmanin opas todella aktivoi harkkohytien synnyn Suomessa 1800-luvulla, ensimmäisen perusti Anjalan liiton mies, luutnantti Engdahl Varpaisjärven Urimolahteen (Uhrimalax), viimeinen perustettiin 1884 Värtsilään. Yhteensä harkkohyttejä perustettiin 40 kpl. Näistä hyteistä neljään rakennettiin myöhemmin harkkouunin tilalle suurempi masuuni malmikannan säilyessä entisenä. Nämä ruukit olivat: Säyneinen (1832), Jyrkkäkoski (1835), Ämmä (1863) ja Salahmi (1875).

Verrattuna keskiaikaan, 1800-luvulla oli jo kysyntää valimotakiraudalle, jossa fosforipitoisuudella oli edullinen vaikutus mm. valettavuuteen. Niin kauan kuin Pietarin seudun valimot ostivat runsasfosforista järvimalmittakirautaa, näiden masuunien kannattavuus oli kohtuullinen. Vasta vuosisadan lopun martinuunit emäksiksi muutettuina saattoivat käyttää tätä takkirautaa teräksen valmistamiseen. Kun Pietarin valimot lopettivat ostonsa, useimmilla Suomen järvimalmimasuunilla oli tuho edessä, ainakin ennen 1890-lukua. Jatkoajaa saatettiin saada perustamalla oma valimo, kuten mm. Juantehtaalla. Joka tapauksessa voidaan todeta: keskiajan oloissa järvimalmimasuunilla ei olisi ollut mahdollisuuksia, johdonmukaisesti Björkenstamin opin mukaan.

Lopuksi voidaan palauttaa mieleen 1800-luvun monipuolinen aktiviteetti Suomen harkkouunien teknisen tason ja toimivuuden parantamiseksi. Kehitettiin useampioppuisia kaksoisuuneja, Husgafvel patentoi liikkuvat pesät sulaimen poiston nopeuttamiseksi jne. Niiden innovaatioiden piiri siirtyi kuitenkin perusaiheemme ulkopuolelle.

## SUMMARY

### THE TECHNIQUE OF IRONMAKING:

#### HAS A TRADITIONAL CONCEPTION OF THE HISTORICAL DEVELOPMENT IN SMELTING METHODS ONLY BEEN A PRESUMPTION BASED ON MISUNDERSTANDINGS?

Traditionally it is assumed that the smelting technique of iron has developed through a continuous process of evolution by several stages from direct batchwise production of malleable iron to the indirect continuous smelting of liquid pig iron in a high blast furnace. In 1990 Nils Björkenstam published in Sweden his study on iron production methods in medieval Western Europe. His conclusions are:

Most of the medieval ironmakers had all the technical and material resources and know-how needed to build a blast furnace and produce liquid pig iron, but the composition of the regional iron ores decided the choice of process which led to a good steel product. Only regions with low-phosphorus ores (below 0.1%P) with a high iron content had premises for a blast furnace process. One reason for this was the fact that in medieval Europe pig iron had only demand as raw material for steel, cast iron as a product had no market. In the blast furnace process, most of the phosphorus is

reduced to the crude iron which after fining to wrought iron and steel causes the effect of cold shortness. The European regions of low-phosphorus iron ores (about 5% of all ores) are found in Styria, in the Basque province, in central Sweden, in Germany, Italy and Belgium. The four last countries were early known as users of the blast furnace process.

In the medieval Finland, without such low-phosphorus ores, the small scale primitive ironmaking used only lake ores with high contents of phosphorus and manganese. Later on, in the 19th century, the use of this direct method was encouraged by the government and some of these furnaces were transferred to real blast furnaces. The product of these blast furnaces was useful only as cast iron then having market in St.Peterburg. The "primitive" direct smelting of malleable iron in the Middle Ages consequently was the only right process for the lake ore, in accordance with the Björkenstam theory.

# Raudanvalmistus kehittyä, uudet prosessit kolkuttavat ovella

TkL Heikki Ylönen, Rautaruukki Oy, Raahen terästehdas, Raahen

## JOHDANTO

Tänä päivänä lähes kaikki raakarauta valmistetaan masuuniprosessilla, mikä saattaa jossain määrin tuntua kummalliselta, sillä onhan masuuniprosessilla ikää jo satoja vuosia ja Suomessakin toimivia masuuneja on ollut jo 1600- ja 1700-luvuilla. Masuuni on kuitenkin energeettisesti varsin tehokas reaktori ja sitä on erityisesti viimeisen 20 vuoden aikana pystytty kehittämään niin, että taloudellisessa mielessä merkittäviä kilpailijoita ei ole vielä ilmestynyt.

Heikkouksia masuuniprosessillakin on ja juuri nämä ovat laukaisseet käyntiin työn, joka tähtää ”uuden sukupolven” raudanvalmistusprosessien kehittämiseen, prosessien, jotka aikanaan korvasivat masuunin tai ehkä täydentäisivät hyvässä kunnossa olevaa tuotantolaitteistoa tuomalla siihen lisäkapasiteettia. Kunnianhimoisimmat hankkeet tähtäävät jopa suoraan teräksenvalmistukseen, tai välivaiheeseen, jossa tuotetaan rautaa hiilipitoisuudeltaan < 3 %, esimerkiksi AISI:n (American Iron and Steel Institute) Direct Steelmaking -projekti. //

Yllä mainitut masuunin heikkoudet ovat mm. agglomeroidun raaka-aineen tarve, hyvälaatuisen metallurgisen koksen tarve sekä taloudellisesti toimiakseen vaatimus suuresta tuotantokapasiteetista. Koksamo, sintraamo ja suurikokoinen masuuni ovat pääomakustannuksiltaan erittäin raskaita ja lisäkustannuspaineita tuovat mm. ympäristölainsäädännön tulevat vaatimukset. Heikoimmillaan masuuni on metallurgisen koksen tarpeen takia. Kivihiilivarat, joista metallurgista koksia voidaan tehdä, ovat rajalliset samoin kuin koksamojen käyttöikä on rajallinen (20 - 30 vuotta). On myös arvioitu, että yli 80 % maailman koksamojen kapasiteetista poistuu 30 v. kuluessa ellei uusia koksamoja rakenneta. Tuotannon joustavuus ei sekään ole masuunin parhaita puolia prosessin pysäyttämisen, alas- ja ylösajon sekä stabiilin ajomallin saavuttamisen viedessä pitkiä aikoja.

## MASUUNIPROSESSILLA ON VIELÄ KEHITYSPOTENTIAALIA

Masuuniprosessia onkin kehitetty monin tavoin suuntaan, jossa koksilla olisi energiantuojana mahdollisimman pieni osuus. Yksi nopeimmin yleistyvistä keinoista on hiili-injektio ja samanaikainen happirikastus masuunien hormoneilla. Tänä päivänä on jo saavutettu 150 - 170 kg/trr hiili-injektiotaso (300 - 320 kg/trr koksia) ja pyrkimys on saavuttaa jopa kaksinkertainen injektiomäärä normaalissa tuotannossa. Käytettäessä esim. hiililaatuja, joiden haihtuvien komponenttien osuus on n. 30 %, hiili korvaa koksia n. 1:1. Kaikenlaisia kivihiililaatuja on käytetty eikä ole vielä selvää kuvaa optimista. Tietyn kivihiililaadun käytölle on tavallisesti tärkein kriteeri ollut hinta. Injektiomäärien lisääminen tuo tullessaan myös uusia ongelmia ratkaistavaksi. Masuunipanoksen jakauma ja kaasunläpäisevyys muuttuvat, hiilen syttymisnopeus ei riitä ja seurauksena on nokiongelmia masuunin yläosissa, uunin ajotapa pitää opetella uudelleen, häiriö injektioilaitteistossa pysäyttää masuunin. Huolimatta tekniikan kehittymisestä niin, että ensimmäiset hiili-injektioilaitteistot ovat jo käyneet vajaatehoisiksi, koksia edelleen

tarvitaan tietty määrä ja sen laatuvaatimukset kiristyvät sitä enemmän, mitä pienempi sen osuus on panoksesta. Alarajana pidetään yleisesti n. 200 kg/trr koksimäärää, missä masuuni vielä toimii.

Puuttumatta tarkemmin moniin muihin konventionaalisen raudanvalmistuksen kehityskohteisiin, edellä oleva vain yhtenä esimerkkinä siitä, että masuuniprosessiakin koko ajan kehitetään. Tällöin uusien prosessien suorituskyvyn täytyy olla todella hyvä pystyäkseen vakavasti kilpailemaan masuunin kanssa.

## UUDET RAUDANVALMISTUSPROSESSIT

### Sulapelkistys

Uusilla prosesseilla, jotka viime vuosina ovat olleet kiivaan kehittelyn kohteena mm. Japanissa, USA:ssa ja Euroopassa, tarkoitetaan lähinnä ns. sulapelkistysprosesseja. Sulapelkistyksessä rautamalmiin rautaoksidi pelkistetään kokonaan tai esipelkistetyistä tuotteista loput niin korkeassa lämpötilassa, että tuloksena saadaan sulaa raakarautaa, jonka koostumus vaihtelee jonkin verran riippuen prosessista.

Yleisesti sulapelkistysprosessi voidaan määritellä menetelmäksi, missä:

- Sulaan rautakylpyyn (ja sen yläpuolella kuohuvaan kuonaan) syötetään **kivihiiltä** ja pelkistämätöntä tai esipelkistettyä **rautamalmia** palana, pulverina, pelletteinä tai sinterinä.
- Lisäksi syötetään kuonanmuodostukseen tarvittavia materiaaleja (kalkki, dolomiittikalkki jne.)
- Sularaudan hiili, kivihiilestä koksautuva hiili ja syntyvät pelkistävät kaasut (CO, hiilivedyt) pelkistävät rautaoksidit raudaksi.
- Malmisyöte on esilämmitetty/esipelkistetty tarpeen mukaan erillisessä reaktorissa (kuilu-uuni, leijupatja..) prosessissa syntyvillä poistokaasuilla.
- Tarvittaessa (esim., kun esipelkistysaste on pieni ja loppupelkistykseen on käytettävä paljon energiaa) poistokaasut **jälkipolteaan** hapella tai ilmalla tarkoituksena kuumentaa kuonaa ja sulaa rautaa energiatasapainon ja riittävän sulalämpötilan säilyttämiseksi.

Kuvassa 1. on esitetty skemaattisesti konvertterityyppisen sulapelkistysprosessin periaate.

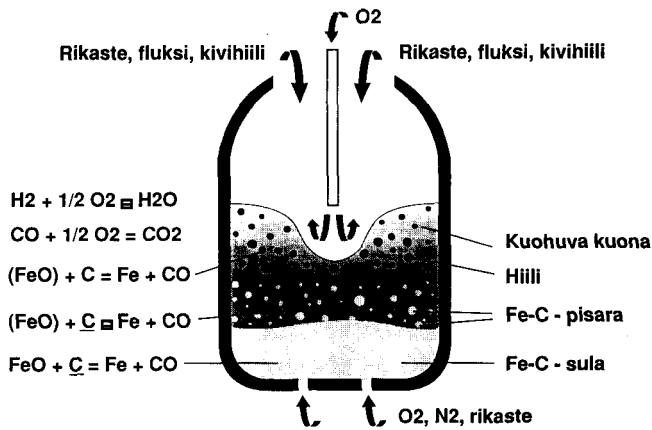
Yhteinen piirre uusille menetelmille on masuuniprosessin hajauttaminen useaksi eri osaprosessiksi. Nämä ovat **esipelkistys kiinteässä tilassa, loppupelkistys sulapelkistysen ja pelkistyskaasun ja -energian kehitys**. Näin raaka-aineiden ja energian käyttö tulee joustavammaksi kuin masuunissa, jossa kaikki edellä mainitut osaprosessit tapahtuvat samassa reaktorissa ja ovat toisistaan riippuvaisia.

### Tavoitteet ja status

Uusilla raudanvalmistusprosesseilla tavoitellaan:

- Matalampia investointi- ja käyttökustannuksia
- Kokonaisenergiankäytön pienennystä

## Pelkistysreaktiot sulapelkistyksessä



Kuva 1. Sulapelkistuksen periaate.

Fig. 1. Principle of iron bath smelting.

- Metallurgisen kaksin ja sintterin eliminointia
- Korkeaa tuotantotehoa ( $t/m^3/vrk$ )
- Tuotantoketjun yksinkertaistamista
- Tuotannon joustavuutta (alas-/ylösajot)
- Joustavaa raaka-aineiden käyttöä
- Kannattavuutta myös pienellä yksikkökoolla (0.3-0.5 Mt/a)

Sulapelkistysideaa lähdettiin viemään eteenpäin 60- ja 70-luvuilla mm. Ruotsissa, missä professori Sven Eketorp kehitti ajatusta alusta loppuun yhdessä ja samassa reaktorissa tapahtuvasta sulapelkistysprosessista. Sitten Ruotsissa tehtiin monia pilot-skaalan kokeita, mutta ne kaikki jäivät syystä tai toisesta pilot-asteelle.

80-luvulla ja etenkin sen jälkipuoliskolla käynnistettiin useita mittavia tutkimus- ja kehityshankkeita eri tyyppisten uusien prosessien kehittämiseksi. Rahallinen satsaus näihin on miljardiluokkaa. (Esim. Japanin kansallinen DIOS-projekti 200 milj. USD tai AISI:n projekti USA:ssa > 50 milj. USD). Monia erilaisia teknologioita kehiteltiin tänä aikana, mutta vain muutama projekti on jäänyt 90-luvulle elinvoimaiseksi. /2/

## Teknologia ja perusongelmat

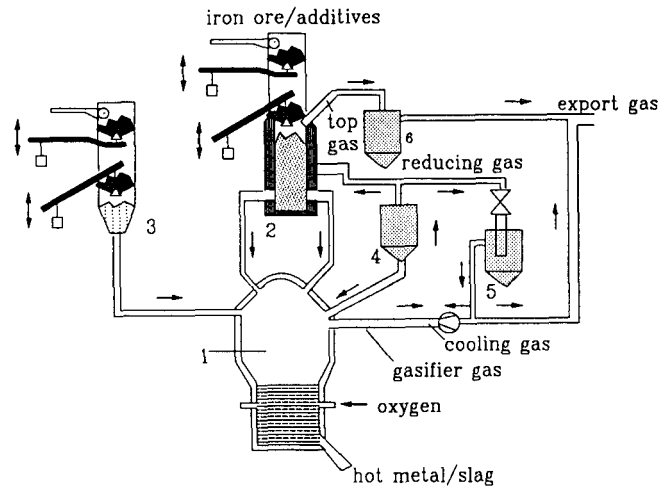
### Esipelkistysaste

Yhtenä esimerkkinä käytettävään tekniikkaan vaikuttavista tekijöistä otettakoon rautaoksidipitoisen raaka-aineen esipelkistysaste. Täysin pelkistämättömän malmin käyttö tuntuisi järkevältä käytännön ratkaisujen kannalta, sillä jähän silloin kokonainen prosessiskel pois ja systeemi yksinkertaistuu huomattavasti.

Tämä vaihtoehto vaatii kuitenkin toimiakseen erittäin tehokkaan poistokaasujen jälkipolton ja on arveltu, että reaktiopinta-alan suhde reagoivaan tilavuuteen on liian pieni, jolloin pelkistysnopeus saattaa kärsiä. Samalla ei myöskään synny ollenkaan ylimäärää polttoaineksi kelpaavaa kaasua. Lisäksi valtavista kaasumääristä johtuen kuohuvan kuonan hallinta voi olla vaikeaa ja jälkipolton yhteydessä olennaisen tärkeä lämmönsiirron tehokkuus todennäköisesti kärsii.

Toista ääripäätä edustaa esipelkistys lähes kokonaan metalliseksi raudaksi ennen sulapelkistystä, mistä esimerkkinä on Voest Alpinen ja Korf Engineeringin kehittämä tällä hetkellä ainoa tuotantomittakaavassa toimiva sulapelkistykseen perustuva raudanvalmistusprosessi, COREX. Kuva 2. /3/.

Palamalmi tai pelletit esipelkistetään kuilu-uunissa ja syötetään kuivatun hiilen kanssa päältä sulatusreaktoriin, jonka alaosassa puhalletaan happea suuttimilla uuniin. Hapen ja hiilen reagoidessa hiili kaasuntuu ja kaasuntumisessa syntyvä lämpöenergia sulattaa suorapelkistetyin, kiinteän raudan. Poistokaasut käytetään pel-



Kuva 2. COREX- prosessi /3/.

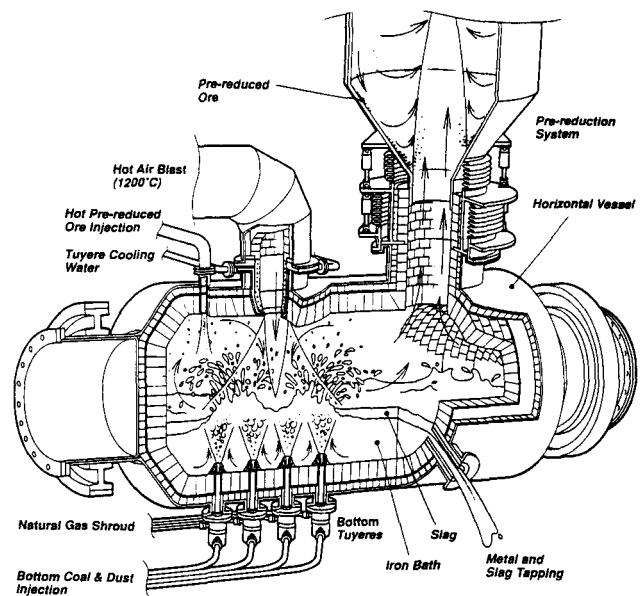
Fig. 2. COREX process.

kistämään malmi kuilu-uunissa vastavirtaperiaatteella tuotteeksi, jonka pelkistysaste on > 90 %. Sula rauta ja kuona lasketaan jaksottaisesti kuten masuunissakin.

Prosessissa syntyy ylijäämä polttoaineksi kelpaavaa kaasua, joka voidaan käyttää hyödyksi vaikkapa terästehtaassa.

Edellä mainittujen prosessien välivaiheita ovat vain osittain pelkistettyä rautaoksidimateriaalia käyttävät prosessit, joissa suuri osa tarvittavasta lämpöenergiasta tuotetaan sulapelkistysreaktiossa syntyvien kaasujen jälkipoltolla. (Kuvan 1 periaate). Tällä periaatteella on pilotskaalan kokeissa edennyt melko pitkälle kolme prosessia: Japanilaisten DIOS-projekti, Austraaliaan rakennettava HISMELT (> 100 000 t/a)(kuva 3.) /5/ ja amerikkalaisten AISI:n "Direct steelmaking" -projekti. Tavallista näille prosesseille on konverterin tapaisen reaktorin käyttö (yleensä vanhoja teräskonverttereita) sulapelkistykseen. AISI:n 15 t pilotskaalan konverterti (Pittsburg PA) toimii seuraavasti:

Käynnistyspanoksen jälkeen konvertertiin syötetään hematiittipelleteista ( $Fe_2O_3$ ) västtiiksi ( $FeO$ ) kuilu-uunissa pelkistettyjä pellettejä, kivihiiltä, kalkkia ja dolomiittikalkkia. Jälkipoltoon käytetään siihen erityisesti suunniteltua "pehmeäpuhallushappi-



Kuva 3. HISMELT — prosessi /5/.

Fig. 3. HISMELT — process.

lanssia". Konvertteriin muodostuu selvät vyöhykkeet stabiiliin ajon aikana:

1. Pohjalla sula, hiilikyllästetty rauta
2. Tiiviin kuonan kerros
3. Kivihiilestä koksantuneen hiilen (char) kerros.
4. Kuohuva kuona, joka sisältää rautapisaraita ja hiiltä, ja jossa syntyvät kaasut jälkipoltetaan hapella.

Savukaasut kerätään normaaliin konvertterin pesujärjestelmään. Kuohuvan kuonan kerros toimii jälkipoltossa syntyvän lämmön siirtäjänä sulaan rautaan sekä myös kuonaan, jossa osa pelkistysreaktioista jo tapahtuu. Lisäksi kuonakerros erottaa hapettavan ja pelkistävän osan toisistaan reaktorissa.

Esipelkistysaste vaikuttaa mm. prosessin energiatalouteen vahvasti ja on laskettu, että 30 % esipelkistysasteella (pelkistys  $Fe_2O_3$ :sta  $FeO$ :ksi) ja suurella jälkipolttoasteella (> 50 %), hiilenkulutus systeemissä on mahdollisimman pieni. Taulukko 1. /4/.

Esipelkistystapaan taas vaikuttaa lähtömateriaali. Kuilu-uunilla, joka on koettua tekniikkaa, voidaan pelkistää palatavaraa ja pellettejä ja samalla vaikkapa kalsinoida tarvittava poltetu kalkki kalkkikivestä, kuten HISMELT-prosessissa, mutta jos halutaan käyttää hienojakoista rikastetta, tulee kysymykseen leijupatjatekniikan käyttö. Leijupatjapelkistyksessä on ongelmana rautaoksidien metallisoituessa tapahtuva partikkelien agglomeroituminen (sticking). Toisin päin sanottuna saatavilla olevat raaka-aineet ja niiden tyyppi vaikuttavat vahvasti käytettävään teknologiaan. AISI:n projektissa on päädytty wüstiitiksi pelkistettyjen pellettien käyttöön perusraaka-aineena, koska USA:ssa on paljon pelletointikapasiteettia ja kuilu-uunipelkistys ei tuota suuria ongelmia esipelkistysmenetelmänä.

## Jälkipoltto ja lämmönsiirto

Jotta jälkipoltto pystyisi tuomaan tarvittavan lisäenergian raudan sulatukseen ja myös pitäisi lämpötilan riittävän korkeana on sekä jälkipolttoasteen, että lämmönsiirron tehokkuuden oltava hyvin korkeita. Jälkipolttoaste voidaan määrittellä seuraavasti:

$$\text{Jälkipolttoaste} = \frac{\% CO_2 + \% H_2O}{\% CO + \% CO_2 + \% H_2 + \% H_2O} * 100\%$$

missä prosentit ovat pitoisuuksia savukaasuissa. Tehokkuuteen vaikuttavat käytetyn kivihiilen tyyppi (teho heikkenee käytettäessä hiiltä, jossa on suuri määrä haihtuvia komponentteja), hapensyötötöteknikka (happilanssin rakenne ja ajopraktiikka), kuohuvan kuonan hallinta (liian kuohuva kuona heikentää tehoa, mutta kerroksen on oltava riittävä erottamaan hapettava jälkipolttovyöhyke sulasta raudasta) sekä sekoitusteho (sekoitus lisää lämmönsiirtotehoa, mutta liiallisena myös pölyhäviötä).

Kuonan merkitys lämmönsiirtäjänä korostuu etenkin silloin, kun

**Taulukko 1.** Hiilenkulutus erilaisilla esipelkistys ja jälkipolttoasteilla raudan sulapelkityksessä /4/.

**Table 1.** Coal consumption at different prereluction degrees and post combustion ratios in iron bath smelting.

PRD	PCR	Coal kg	O <sub>2</sub> Nm <sup>3</sup>	CaO kg	Ore kg
30	50	537	444	104	1492
60 <sup>a</sup>	30	500	381	101	1488
90 <sup>b</sup>	0	688	451	88	1458
0 <sup>c</sup>	50	804	697	118	1495

a Additional 55 kg of carbon required for reforming for prereducer

b 1 % Si in metal

c No preheat of ore; all others 800°C

merkittävä osa pelkistysreaktioista tapahtuu jo kuonassa. Kun rautamalmiin esipelkistysaste on 30 % ja jälkipolttoaste 50 % ja pelkistymisestä 40 % tapahtuu kuonassa, n. 75 % jälkipolttoenergiasta kulutetaan siellä.

## Kuonan kuohuminen ja savukaasujen käsittely

Sulapelkistysprosessissa voi syntyä kaasumääriä, jotka ovat kymmenkertaisia normaaliin teräskonvertteriin verrattuna, mikä asettaa savukaasujen käsittelylle omat erikoisvaatimuksensa, kun vielä kaasut tavallisesti ovat hyvin kuumia. Lisäksi suuret kaasumäärät voimistavat kuonan kuohumista, minkä seurauksena pölyhäviöt (sekä rauta että hiili) voivat olla huomattavat. Onkin havaittu, että konvertterityyppisessä prosessissa hiilen määrä pölyssä voi olla jopa 80 % ja kaikesta syötetystä hiilestä yli 10 % häviää pölyn mukana. Osa tästä voidaan toki hoitaa kierrätyksellä.

Jotta pölyhäviöt ja rasitukset reaktorin tulenkestäville materiaaleille olisivat siedettävät, on kuohumisen hallinta yksi tärkeimmistä asioista prosessin ohjaamisessa. Kuohumiseen vaikuttavat esimerkiksi kuonan fysikaaliset ominaisuudet (viskositeetti, pintajännitys, lämpötila jne.) ja myös kemiallinen koostumus ( $FeO$ -pitoisuus,  $S$ -pitoisuus). Jopa sillä on sanottu olevan merkitystä, miten suurista kuplista kuonavaahto muodostuu. Riittävän suuren hiilimäärän lisääminen on tavallisin keino pitää kuonan vaahtoaminen kurissa.

## Pelkistysnopeus

Sulapelkistysprosessien tuotantoteholle on luonnollisesti ehdoton edellytys suuri pelkistysnopeus. Sulapelkistyksessä on tavoitteena ja on myös koemittakaavassa voitu osoittaa, että voidaan saavuttaa selvästi suurempia tuotantotehoja tilavuusyksikköä kohti kuin masuunissa. Reaktiomekanismi ja reaktioiden kinetiikka on vielä tällä hetkellä varsin tuntematonta aluetta huolimatta siitä, että siinä rautaoksidien pelkistystä on tutkittu erittäin paljon. Yksityiskohtainen tieto kuonan, metallipisaroiden ja hiilen välisten reaktioiden nopeuksia kontrolloivista tekijöistä on tuntematonta, mutta pelkistysnopeuden oletetaan olevan verrannollinen kuonan  $FeO$ -pitoisuuteen:

$$R = (k_{K-M} * A + k_{K-C} * W_C) * (\%FeO) + k_{O-M} * \dot{O}$$

Missä:

R = hapen poistonopeus rautaoksidista (esim mol O<sub>2</sub>/min/m<sup>2</sup>/%Fe)  
 $k_{K-M}$  ja  $k_{K-C}$  = kuona-metalli ja kuona-hiili reaktioiden nopeusvakiot

A = kuonan ja metallin välinen reaktiopinta-ala

$W_C$  = hiilen (koxin) määrä kuonassa

$k_{O-M}$  = rautarikasteen pelkistymisen nopeusvakio

$\dot{O}$  = rautarikasteen injektioisuus sulaan rautaan

Edellisen perusteella pelkistymisnopeutta kasvattavat:

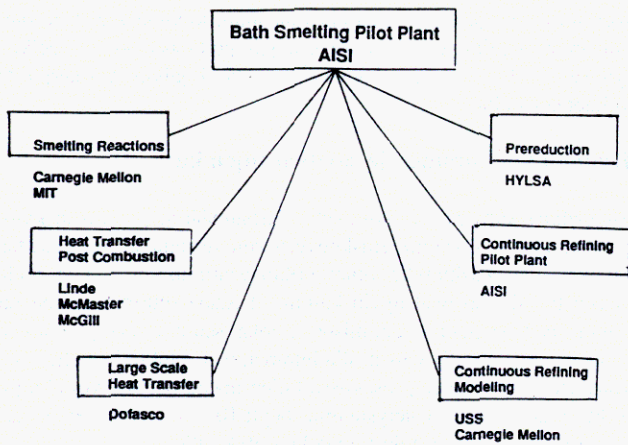
- malmi-injektio
- hiilen määrän lisäys kuonassa
- $FeO$ -pitoisuuden lisäys kuonassa
- suurempi esipelkistysaste

## TUTKIMUSTOIMINTA

Jo mainittujen pilot-skaalan kehityshankkeiden lisäksi korkeakoulu ja tutkimuskeskukset ympäri maailmaa satsaavat sulapelkistykseen liittyvien perusilmiöiden tutkimukseen. Kuvassa 4. on kaavio AISI:n Direct Steelmaking -projektista ja sen tutkimushankkeista. Nähdään, että mukana on useita yliopistoja ja korkeakouluja sekä yrityksiä. Tämä on tarpeen, koska uudet prosessit edellyttävät monien erilaisten osaprosessien ja tekniikoiden hallitsemista.

Suomessa metallurgian alan opinahjoit seuraavat kiinteästi uusimpia kehitysvaiheita ja esimerkiksi Teknillisen Korkeakoulun metallurgian laboratorio tekee kokeita, joissa röntgen-läpivalaisu-





Kuva 4. AISI:n "Suora teräksenvalmistus" — ohjelma /4/.  
Fig. 4. AISI Direct Steelmaking Program.

teknikalla pyritään saamaan lisätietoa erilaisista fysikaalisista ilmiöistä sulapelkistysreaktioissa. Videoimalla röntgenfilmille tapahtumat rautaoksidipelletin pelkistymisestä, kun se reagoi koe-pokkaassa olevan hiilipitoisen raudan kanssa, saadaan arvokasta

visuaalista informaatiota sen lisäksi, että samanaikaisesti muilla mittauksilla selvitetään pelletin lämmönsiirtotapahtumia ja reaktio-mekanismeja. /6/.

Myös teräsyhtiöt Suomessa seuraavat uusien prosessien kehitystä ja mm. Rautaruukki Oy on tehnyt yhteistyötä AISI:n Direct Steelmaking projektiin osallistuvan Massachusetts Institute of Technologyn (MIT) kanssa teollisuusyhteistyösopimuksen puitteissa (Industrial Liaison Program), jolloin vieraileva tutkija sai tilaisuuden osallistua em. projektin laboratoriotutkimuksiin. /7/.

## TULEVAISUUS

Edellä olevassa on pyritty valottamaan uusien raudanvalmistusprosessien teknologiaa ja nykyistä kehitysvaihetta sekä onnistumisen kannalta tärkeimpiä ratkaistavia ongelmia. Saatujen tulosten ja tehtyjen laskelmien mukaan kokonaisenergiankäyttö uusissa prosesseissa ei välttämättä ole pienempää kuin konventionaalisen raudanvalmistuksenkaan /8/ mutta halvemmat raaka-aineet, yksinkertaisempi prosessi, ympäristöystävällisyys ja kohtuulliset pääomakustannukset houkuttelevat varmasti, kun uusia raudanvalmistusyksiköitä perustetaan. Milloin tämä tapahtuu, jää arvattavaksi. Prosessitekniikka saataneen hallintaan vuosituhannen vaihteeseen mennessä, mutta vakavasti masuunin kanssa uudet prosessit kilpailevat todennäköisesti vasta vuosikymmenien kuluttua. Ensiksi saatamme nähdä uuden isomman COREX-version ja sitten...?

## KIRJALLISUUS — REFERENCES

1. Pratt H.R., AISI/DOE Direct Steelmaking Program, Int. Symp. Future Ironmaking Processes Proceeding, June 14-15, 1990, Hamilton, Ontario, Canada
2. Holappa L.E., Raudanvalmistuksen näkymät ensi vuosituhannele, Te-räspalat, 2, 1989, 4-8.
3. Kepplinger L.W., Latest developments in the COREX process and industrial results, Int Conf New Smelting Reduction and Near Net Shape Casting Technologies for Steel, p. 373-398, October 14-19, 1990, RIST, Pohang, Korea.
4. Fruehan, R.J., Iron bath smelting - current status and understanding, Int Conf New Smelting Reduction and Near Net Shape Casting Technologies for Steel, p. 57-74, October 14-19, 1990, RIST, Pohang, Korea.
5. Hardie, G.J., et al, Mathematical modelling in the development of the HISMELT process, 10th PTD Conf Proc, 1992, 109-122, Toronto, Ontario, Canada.
6. Shuang, X., Holappa, L.E., Experiment of Melting of Metallized Wustite Pellet in CaO-SiO<sub>2</sub>-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-FeO Slag System. Esitelmä, SULA-seminaari, 16.1.1992, Teknillinen Korkeakoulu, Metallurgian laboratorio, Otaniemi.
7. Ylönen, H., Heating and Melting of Iron Oxide Pellets in Iron Bath Smelting Slags, Esitelmä, SULA-seminaari, 16.1.1992, Teknillinen Korkeakoulu, Metallurgian laboratorio, Otaniemi.
8. Edström, J.O., Ma, J., von Scheele, J., The new smelting reduction processes versus the blast furnace - a techno-economic evaluation, Int Conf New Smelting Reduction and Near Net Shape Casting Technologies for Steel, p. 221-236, October 14-19, 1990 RIST, Pohang, Korea.

## SUMMARY

### IRONMAKING DEVELOPES - NEW PROCESSES EMERGING

Today blast furnace (BF) has a dominant role in ironmaking in spite of its existence already for many hundred years. Especially during the last two decades the blast furnace has been developed to a level which may now be considered as close to perfection when thinking of productivity, energy consumption or quality and consistency of the product. However, the BF is highly dependent on good quality metallurgical coke even when large amounts of coal is injected into the BF in order to substitute part of the coke as an energy source. Furthermore the BF needs agglomerated materials and it's economy comes from a large size and capacity.

Because of the possible shortage of metallurgical coal, ageing coke plants and sinter plants and environmental problems, a serious attempt is being made to develop new ironmaking processes

in many countries. Most of the new processes are based on the smelting reduction process, Fig. 1-3. where the iron ore coming from a prerduction unit is melted in high temperature to form hot metal. The gases evolving are used to reduce the iron oxides and form energy. When the prerduction degree is low the gases are post combusted in the foaming slag to maintain the energy balance and melt temperature.

Many problems such as control of the post combustion and high heat transfer efficiency, foaming slag and refractory wear will probably be solved by the end of the nineties but the hard competition with the BF does not start until a couple of decades has passed.

# Nordkalk, Pohjolan johtava kalkintuottaja

Geologi, FM Esko Lundén, Nordkalk Oy Ab, Parainen

Partek-yhtymä on kuten useimmat muut alan yritykset viime vuosina kokenut voimakkaita muutosprosesseja. Korkeasuhdanteiden vallitessa 1980-luvulla yhtiö kasvoi ja kansainvälistyi nopeasti. Tämän seurauksena oli konsernin organisaatio uudistettava. Vuosikymmenen vaihteessa tuli toimialojen yhtiöittäminen ajankohtaiseksi. Jo 1980-luvulla oli Ruskealan Marmori Oy siirtynyt yritysostojen kautta Partekin omistukseen.

Ruotsin Euroc-konsernin kalkkibusiness siirtyi 1990 Partekin omistukseen. Tämän seurauksena muodostettiin Nordkalk, johon yhtiöön syyskuussa 1992 liitettiin Lohja-yhtiön kalkkitoiminta Suomessa, kuva 1. Lyhyesti selostettuna on Nordkalkista näin kehittyneet Pohjolan johtava kalkintuottaja.

## KALKIN UUDET KÄYTTÖSOVELLUTUKSET

Perinteisesti kalkkikiveä on pidetty halpana raaka-aineena, josta on voitu valmistaa erilaisia kalkkikivijauheita. Poltetusta kalkista on saatu puunjalostusteollisuuden tai terästeollisuuden raaka-ainetta ja kalkkikivi on ollut ja on edelleen tärkeä sementin raaka-aine. Monipuolisen kehitystyön tuloksena ovat kalkin käyttösovellutukset laajentuneet. Viime vuosikymmenien aikana on uusia kalkkituotteita syntynyt ja uusia tekniikoita otettu käyttöön tyydyttämään asiakkaiden tarpeita.

Paperiteollisuudessa on kalkkikiveä jo pitkään käytetty täyteaineena ja päällystepigmenttinä. Nordkalkissa on paperin ominaisuuksia yhä parannettu kehittämällä OPACARB, joka on saostettu kalsiumkarbonaatti. Tuotetta valmistetaan Lappeenrannassa ja Tervakoskella poltetusta kalkista. Primaarituotteena käytetään Lappeenrannan kaivoksen kalsiittikalkkikiveä, jota poltetaan Nordkalkin kalkkitehtaassa.

Lappeenrannan Ihalaisten kaivos on ainoa kalkkikivikaivos, joka ei kuulu Nordkalkiin. Kaivoksen tuotanto menee pääosin rikastamon kautta Suomen Karbonaatti Oy:n kalsiittitehtaalle mikrojuauhukseksi.

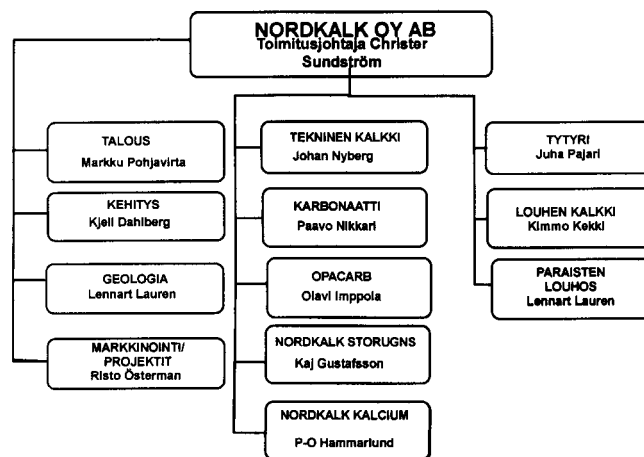
Pigmenttisektorilla korkealaatuista kehitystyötä suoritetaan myös yhteistyössä muitten sidosryhmien kanssa Coating Technology Centerissä (CTC) Raisiossa.

Selluteollisuus on tärkeä kalkin käyttäjä. Nordkalk on kehittänyt ja patentoinut kaksivaiheisen kaustisointiprosessin, jolla tuotetaan normaalia korkeamman kaustisointivoiman omaavaa valkolipeää. RLC-prosessi (Reduced Lime Circulation) on testattu ja otettu täydessä mittakaavassa käyttöön massateollisuudessa.

Terästeollisuutta varten on Partekissa kehitetty FLOWLIME 100 ja 200, jotka ovat ns. juoksuominaisuuksia omaavia injektio-kalkkeja, sekä PARCOVER 100, korkeamäksinen peiteaine käytettäväksi teräksessä lämpöeristeenä ja minimoimassa kemiallista vaikutusta. Tuoteryhmään erikoistuotteet kuuluu myöskin vuonna 1992 markkinoille tullut raakaraudan rikinpoistokalkkituote.

Nordkalkin tuotteet soveltuvat erinomaisesti käytettäväksi ruostumattoman teräksen valmistukseen alhaisen rikki- ja fosforipitoisuutensa vuoksi.

Edellisessä oli muutama esimerkki Nordkalkin toimialalla suoritettua kehitystyötä. Koska kalkkituotteita käytetään hyvinkin eri-



Kuva 1. Nordkalk-organisaatiokaavio.  
Fig. 1. Nordkalk organization.

laisissa sovellutuksissa, tämä asettaa suuret vaatimukset henkilökunnan osaamiselle. Nordkalkin kehitysosastolla onkin käynnissä jatkuva kehitystyö suorittajinaan pitkälle koulutetut asiantuntijat, joilla on pitkäaikainen kokemus. Paraisilla sijaitsevassa kehityskeskuksessa on Nordkalkin uuden aikainen, hyvin varustettu laboratorio, jota käytetään niin kehitystyössä kuin laadunvalvonnassa ja asiakaspalvelussa.

## GEOLOGISET NÄKÖKOHDAT

Vuorialan lukija huomaa tarkastettuaan liitteenä olevaa tuotanto-paikkakuntakarttaa kuva 2, että kalkkiviraaka-aineiden täytyy olla eri aikakausilta peräisin. Suomen suuret esiintymät Parainen, Mustio, Tytyri, Sipoo ja Lappeenranta ovat tyypillisiä Etelä-Suomen prekambria, metamorfisia, enimmäkseen kalsiittisia kalkkiviesiintymiä. Näissä saattaa kalkkikivi sellaisenaan olla melko puhdasta, mutta esiintymissä on tavallisesti ns. kerrosmyönteisiä silikaattikivilajeja tai niitä sekä kalkkikiveä leikkaavia pegmatitteja tai amfibolitteja. Usein on itse kalkkikivi silikaattimineraalipitoinen, mikä herättää mielenkiintoa mineraalikeräilijöiden keskuudessa, mutta aiheuttaa ongelmia louhinnan vastuuhenkilöille. Etelä-Suomen kalkkiviesiintymien usein monimutkainen geologinen rakenne asettaa korkeat vaatimukset kaivosgeologien ja louhinnan suorittajien ammattitaidolle kaivostoiminnan yhteydessä. Esiintymien rakenteen takia osa toimivista kaivoksista on maanalaisia, kun taas toiset ovat avolouhoksia.

Osa Nordkalkin karbonaattikivistä on dolomiittisia. Tällaisia ovat mm. Vampulan, Siikaisten, Vimpelin ja osittain Louhen ja Sipoon kaivoskivet. Jauhettua dolomiittia käytetään maanparannusaineena. Suomen pellot ovat useimmiten happamia ja niukasti Mg-pitoisia. Käyttämällä dolomiittia ovat asiakkaat saaneet sekä Mg-puutteen että peltojen pH-arvot korjatuiksi. Dolomiitti-



tin ansiosta peltojen tuotto on kasvanut, samalla kun lannoitustarve on vähentynyt.

Koko Nordkalkin Suomen kalkkikivituotanto on yli 4 milj. tonnia/vuosi, mikä merkitsee, että yhtiö on maassamme kolmannella sijalla, kun tarkastellaan Suomen kaivostilaston tuotetun malmin tai hyötykiven saraketta.

## NORDKALK, RUOTSI

Ruotsin kalkkikiviesiintymät poikkeavat geologisen iän suhteen melkoisesti Suomen kalkkikivistä. Ainoastaan Forsbyn esiintymän kalkkikivi keski-Ruotsissa on samanikäinen kuin Suomen esiintymät. Kaikki muut ovatkin sitten nuorempia. Norjassa oleva Verdalen, jossa Nordkalk on osakkaana, louhii kambriasta kalkkikiveä. Ruotsin muut esiintymät ovat ordoviki-siluurikalkkikiveä ja nuorin eli Skänen kalkkikivi on liitukaudesta (Ignaberga) kuva 2.

Nordkalkin Ruotsin suurin tuotantolaitos sijaitsee Gotlannin saarella. Täällä Nordkalk Storugns louhii 2,5 milj. tonnia kalkkikiveä vuodessa. Henkilöstön lukumäärä on 100 ja liikevaihto 120 MSEK.

Gotlannin esiintymän kalkkikivi soveltuu poltettavaksi kuiluunissa, ja ihanteellisen sijaintinsa vuoksi on Storugnsista kehittynyt koko Itämeren aluetta palveleva huippumoderni yksikkö, josta tuotteet kuljetetaan vesitse rannikon sekä Ruotsissa että Suomessa sijaitseviin terminaaleihin. Suurella menestyksellä on Ruotsissa markkinoitu järvikalkkia. Tuotteen myynnistä vastaa Movab AB. Koko Ruotsin Nordkalkin liikevaihto on 400 milj. SEK, mikä merkitsee, että Suomen ja Ruotsin liikevaihto on samankokoinen.

## NORDKALKIN TAVOITTEET

Nordkalkin raaka-ainevarannot ovat suuria, monipuolisia ja korkealaatuisia. Kalkkikiven riittävyys auttaa takaamaan ensiluokkaisen tuotteen saatavuuden myös kaukana tulevaisuudessa. Kalkkiraaka-aineiden erilaiset laatuero yhdessä vaihtelevan geologisen muodostustavan kanssa mahdollistavat tuotteiden monipuolisten käyttösovellutusten kehittämisen ja niiden ainutlaatuisten ominaisuuksien hyödyntämisen tuotannossa.

Ympäristön tila ja sen parantaminen ovat hyvin ajankohtaisia kysymyksiä. Kalkkikiveä käytetään suuressa mittakaavassa ympäristön tilan parantamiseen. Omien tuotantolaitosten pölynpäästöt ja muut ympäristöhaitat pyritään tietoisesti minimoimaan kuva 3.

Laatupuolella on Nordkalkissa aina pyritty vahvistamaan kilpailukykyä panostamalla laatuun kaikissa tilanteissa. Laatuajattelu lyö itsensä läpi kaikilla organisaatiotasolla. Kuluvalla vuosikymmenellä on tarkoitus yhä kehittää henkilöstöä kehitys- ja koulutusprojektin avulla. M.m. laatujärjestelmä ISO 9002 on loppusuoralla, kirjaimellisesti kalkkiviivoilla. Nordkalkissa on tällä tavoin aikaansaatua tehokas organisaatio, joka työskentelee lähellä markkinoita ja on tietoinen asiakkaiden tarpeista.

Nordkalkin liikeidea voidaan kiteyttää seuraavasti: Tarjota markkinoille oikeanlaatuisia kalkkituotteita oikeaan aikaan ja oikeaan hintaan.

## SUMMARY

### NORDKALK, THE FOREMOST LIMEPRODUCER IN SCANDINAVIA

Limestone based products have been one of the most important products since the start of Partek.

Nordkalk started in 1990 as an independent company within Partek Minerals and is now the biggest in the lime business in the Baltic Sea area.

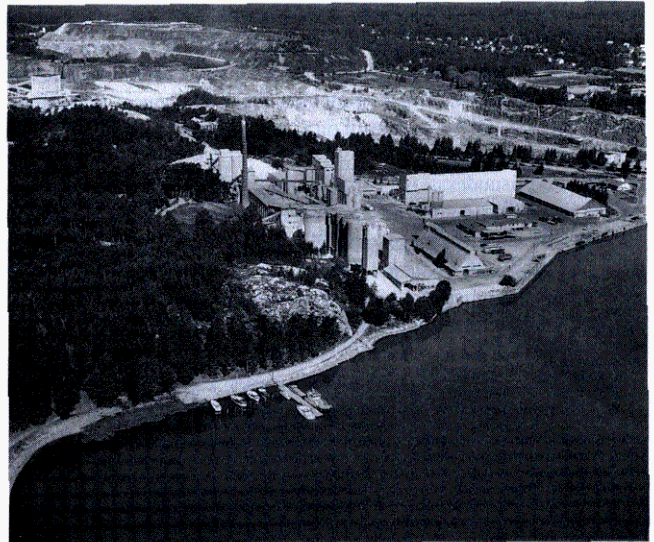
Traditional products like burnt lime, ground milled carbonate products as well as new applications such as precipitated calcium carbonate (PCC) are the most important materials coming from Nordkalk. The number of different plants is about 15 in Finland



- |                |               |               |
|----------------|---------------|---------------|
| 1 Parainen     | 7 Vampula     | 13 Ignaberga  |
| 2 Lappeenranta | 8 Vimpeli     | 14 Luleå      |
| 3 Tytyri       | 9 Köping      | 15 Verdalen   |
| 4 Sipoo        | 10 Storugns   | 16 Mäntyluoto |
| 5 Louhi        | 11 Limhamn    | 17 Tervakoski |
| 6 Siikainen    | 12 Uddagården |               |

Kuva 2. Nordkalk-toimipaikat.

Fig. 2. Nordkalk locations in the Nordic countries.



Kuva 3. Ilmakuva kalkkitehtaasta ja kaivoksesta.

Fig. 3. Air photo over the lime factory and quarry, Parainen.

and Sweden. The company is able to use five ice free harbors located in different areas close to the customers in the Baltic Sea.

The lime deposits of Nordkalk are formed under special conditions under several geological periods. The variation in the quality of the limestone deposits makes it possible to produce different lime products.

Modern equipment together with highly motivated professional skilled personnel, will enable Nordkalk to fulfill the customers' special requirements for decades in the future.

# 100 vuotta metallurgisen osaston perustamisesta Kuopion teollisuuskouluun

Professori Martti Sulonen, Teknillinen korkeakoulu, Materiaalien muokkauksen ja lämpökäsittelyn laboratorio, Espoo

Viime vuosisadan loppuvuosina Suomessa käytössä olleet toistakymmentä masuunia tuottivat järvi- ja suomalmesta enimmillään n. 25000 tonnia takkirautaa vuodessa. Terästä tuotettiin Siemens-Martin-menetelmällä n. 6000-7000 tonnia ja ahjoissa ja putlauksissa valmistui kuonapitoista ns. hitsirautaa n. 15000 tonnia vuodessa. Maailman silloinen vuotuinen terästuotanto arvioitiin 20 miljoonaksi tonniksi.

Metallurginen koulutus oli tuolloin maassamme melko vähäistä. Tosin jo vuosisadan puolivälissä oli ollut suunnitelmia korkeatasoisen vuoriteknisen oppilaitoksen perustamisesta Tampereelle, mutta nämä eivät toteutuneet. Siksi on hyvin merkittävää, että toimintansa aloittaneeseen Kuopion teollisuuskouluun, jonka läheisyydessä sijaitti eräitä silloisia raudantuotantolaitoksia, perustettiin v. 1889 metallurginen osasto. Opettajana toimi insinööri Gustaf A. Abrahamsson (myöh. suom. Aartovaara), joka oli Tukholmassa opiskellut alaa. Myöhemmin hän oli pitkään Teknillisen korkeakoulun analyyttisen kemian lehtori. Kuopiossa toimiessaan hän kirjoitti v. 1901 julkaistun, siellä K. Malmströmin kirjapainossa painetun oppikirjansa "Raudan valmistuksesta". Teos perustuu hänen luentomuistiinpanoihinsa, joita oli monistettu ("hektograferattu") oppilaille myytäväksi tai lainattu kopioitavaksi. Kirjan alkulauseessa sanotaan, että ensimmäiset muistiinpanot oli laadittu laboratorioharjoituksia varten.

Kirja suunniteltiin kuitenkin laajemmaksi ja se käsittää 539 sivua. Lähteinä mainitaan Bergsskolans i Stockholm'in professorin Richard Åkermanin luennot, raudan metallurgian oppikirjoja sekä sellaisia aikakauslehtiä kuin Jernkontorets Annaler, The Journal of Iron and Steel Institute, Stahl und Eisen, ym. Kuvitus on painettu erikseen ja käsittää 160 pääosin Jernkontorets Annaler'eista painoteknisistä syistä uudelleen piirrettyä kuvaa ja piirrosta.

Sisällöllisesti kirja jakautuu yleiseen metallurgiaan ja raudan metallurgiaan. Edelleen siinä käsitellään vaihtelevan pituisin esityksin valamista, hitsaamista, takomista, vetämistä, putkenvalmistusta, valssaamista, galvanoimista, tinausta, tutkimus- ja aineen-koetusmenetelmiä sekä raudan ja teräksen käyttöaloja. Pääpaino on selvästi kuitenkin masuuniprosessissa, jota käsitellään hyvin yksityiskohtaisesti sekä eri teräksenvalmistusmenetelmissä, jo poistumassa olevat ahjo- ja putlamenetelmät mukaanlukien. Mielenkiintoista on tässä painoasultaankin laadukkaassa kirjassa käytetty suomenkielinen terminologia; moni näistä nyt unohtetuista ammattisanoista voisi hyvin sopia nykykieleenkin.

Abrahamssonin "Raudan valmistuksesta" saattaa löytyä vanhemman polven metallurgien kirjahyllyiltäkin. TKK:n kirjastoista se on kuvituksineen saatavissa. Myös Turun yliopiston kirjastossa on täydellinen kappale.

## SUMMARY

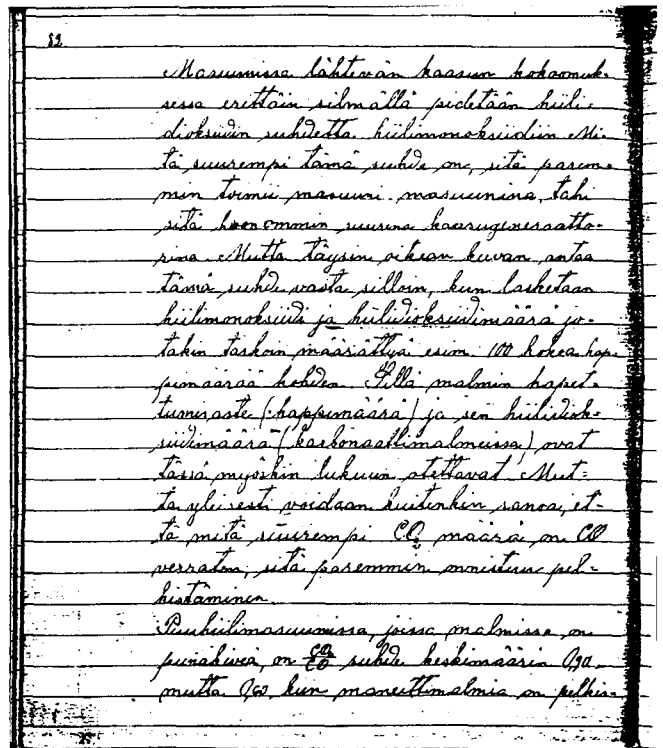
### 100 YEARS SINCE FOUNDING OF METALLURGY SECTION IN KUOPIO INDUSTRIAL SCHOOL.

In 1889 education in metallurgy was started in Kuopio industrial school. Basing on his lectures there, Gustaf A. Abrahamsson (later Aartovaara) published the book "Raudan valmistuksesta" ("Making of iron") in 1901. It contains 539 pages and 160 as a separate volume published figures.

## Sisältö.

Ensimmäinen osa.		
Osia yleistä metallurgiaa.		sivu
I luku.	Palamisesta ja pelkistämisestä . . . . .	1
II "	Polttoaineista . . . . .	29
III "	Uunit . . . . .	64
IV "	Puhalluskoneista y. m. . . . .	106
V "	Uunien sisustamisesta ja sisustusaineista . . . . .	120
VI "	Kuonista . . . . .	142
Toinen osa.		
Raudan metallurgia.		
I luku.	Historia . . . . .	155
II "	Vieraiden aineiden yhtyminen rautaan, vaikutus raudan ominaisuuksiin ja poistaminen raudasta . . . . .	170
III "	Rautamalmeista . . . . .	245
IV "	Takkiraudan valmistaminen . . . . .	267
V "	Takkiraudan valamista . . . . .	333
VI "	Taottavan raudan valmistaminen suorastaan rautamalmeista . . . . .	368
VII "	Hitsiraudan valmistuksesta . . . . .	363
VIII "	Valu . . . . .	392
IX "	Upokasvalu ja sementiteräksen valmistuksesta . . . . .	439
X "	Raudan hitsaamisesta ja venyttämisestä . . . . .	445
XI "	Rautalangan vetämisestä, rautaputkien valmistamisesta, raudan galvanoinnista ja tinaamisesta . . . . .	484
XII "	Raudan hitsaamisesta sähköllä . . . . .	497
XIII "	Raudan tutkimisesta . . . . .	502
XIV "	Raudan käyttämisestä . . . . .	512

Kuva 1. Abrahamssonin kirjan sisällysluettelo.  
Fig. 1. List of contents of the book.



Kuva 2. Oskar Sutisen (1875-1942) luentomuistiinpanoa raudan metallurgiasta Kuopion teollisuuskoulussa v. 1899. S. opiskeli myös Düsseldorfissa ja toimi Rosenlewin, Kone ja Sillan sekä Fiskarsin palveluksessa.

Fig. 2. Note by Oskar Sutinen on lectures of metallurgy of iron in 1899. S. studied also in Düsseldorf and served some companies in Finland.



# AFM atomivoimamikroskooppi

Ass. K. A. Pischow, Teknillinen korkeakoulu, Materiaalien muokkauksen ja lämpökäsittelyn laboratorio, Espoo

## JOHDANTO

Tunnelointimikroskoopin (STM) menestys on johtanut kokonaisen scanning probe-mikroskooppiperheen kehittämiseen. Kaikki nämä mikroskoopit perustuvat niiden erittäin pienten kärjen ja näytteen välisten voimien tai kärjen ja näytteen voimakenttien välisten voimien mittaamiseen, jotka vaikuttavat terävään näytepinnan ylitse pyyhkäisevään kärkeen. Atomic Force Microscope (AFM), jolle näyttää vakiintuvan suomenkielinen ei niinkään onnistunut nimi "atomivoimamikroskooppi", on näistä ensimmäinen ja laajimpaan käyttöön yltänyt, Yliopistojen ja tutkimuslaitosten omatekoisista mikroskoopeista ollaan jo siirtymässä kaupallisiin AFM-laitteisiin. Mikroskoopin käyttöalue on erittäin laaja, orgaanisista epäorgaanisiin aineisiin, johteista eristeisiin, topograafisesta kuvasta kimmoduulin tai kitkan mittaukseen.

Kun AFM mikroskooppi varustetaan magneettisella kärjellä ja siirrytään näytteen pinnan lähiväikutusvoimien olottuvalta 10-100 nm:n päähän kaukovaikutusvoimien alueelle ollaan tullut toisen mikroskoopin, Magnetic Force Microscope (MFM), alueelle. Tätä pitäänee sitten analogisesti kutsua "magneettivoimamikroskoopiksi". MFM-mikroskooppi on osoittautunut oivalliseksi työkaluksi magneettisten muistimateriaalien valmistajien tarpeisiin ja on edelleen osoittautumassa erinomaiseksi työvälineeksi magneettimateriaalien perustutkimukseen.

Seuraavassa tarkastellaan edellämäinittuja mikroskoopeja TKK:n materiaalien muokkauksen ja lämpökäsittelyn laboratoriossa tehdyn kirjallisuustutkimuksen pohjalta [1].

## AFM MIKROSKOOPIN TOIMINTAPERIAATE JA RAKENNE

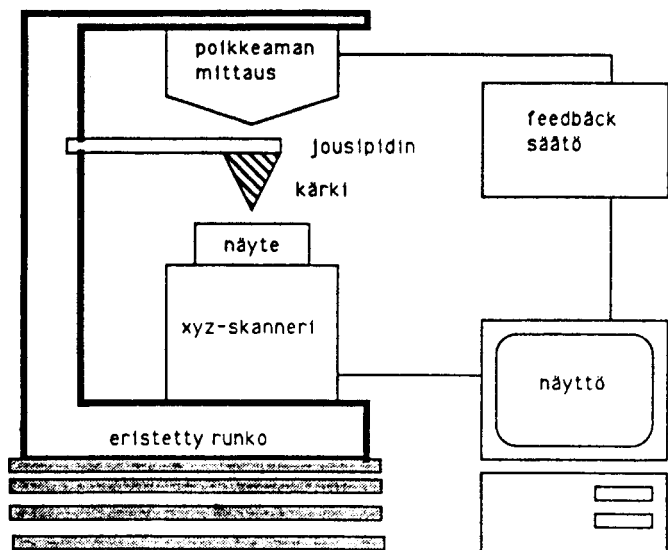
STM mikroskoopin keksimisestä 1986 fysiikan Nobelpalkinnon saanutta Gerd Binnigia voidaan pitää myös AFM:n isänä. Binnig kehitteli AFM-ajatusaan yhdessä IBM:n Christoph Gerberin ja Stanfordin Calvin Quaten kanssa. Laskiessaan atomien välisiä voimia he huomasivat yllätykseksen, että on helppoa valmistaa jousi, jonka jousivakio on pienempi kuin atomien välinen jousivakio. Esimerkiksi molekyylin tai kiteisen aineen värähtelyfrekvenssi  $\omega$  on tyypillisesti luokka  $10^{13}$  Hz. Yhdistämällä tämä atomin massa  $m$ , joka on kertalukua  $10^{-25}$  kg, saadaan atomaariselle jousivakiolle  $k = \omega^2 m$  arvo, joka on suuruusluokka 10 N/m. Vertailun vuoksi todettakoon, että talousalumiinista valmistetun 4 mm pitkän ja 1 mm leveän jousen jousivakio on noin 1 N/m. Binnig et al. uskoivat, että sijoittamalla tällaiseen jousipitimen terävä kärki ja mittaamalla jousipitimen ängströmin luokkaa olevaa taipumaa siirretäessä kärkeä pitkin näytteen pintaa noin 2 Å:n etäisyydellä, voidaan näytteen atomaarisesta topografiasta muodostaa kuva. Ennen kaikkea on syytä huomata, että käytetyn voiman oletetaan olevan niin pieni, ettei se aiheuta atomien siirtymistä paikoiltaan [2].

Kun idea täsmentyi, jätti Gerber kaikki muut työnsä ja hänen onnistui rakentaa prototyyppi muutamassa päivässä. Tulokset, jotka Binnig, Quate ja Gerber [3] saivat prototyyppillään olivat alku atomic force-mikroskopielle.

Vaikka periaate on yksinkertainen ja sen on osoitettu käytännössä toimivan, ei asian teoreettinen tarkastelu suinkaan ole yhtä yksinkertaista. Atomaarisella erotuskyvyllä otettujen kuvien tulkinta on osoittautunut erittäin vaativaksi tehtäväksi. On osoitettu, että kärjen geometrialla on ilmeisen suuri merkitys kuvanmuodostukselle [4,5]. Edelleen on laskettu, että atomaarisen terävä kärki tunkeutuisi grafiittiin vielä  $5 \times 10^{-8}$  N:n voimalla, ja että tarpeeksi pienillä näytteen ja kärjen välisillä etäisyyksillä (1-2 Å) näytteen pinta ja kärki ponnahtavat yhteen riippumatta siitä, miten jäykästi ne on kiinnitetty. Kärjen ja näytteen pinnan välisen vuorovaikutuksen laskemisessa ovat mm. Schluger et al. [6] saavuttaneet hyviä tuloksia käyttämällä Hartree-Fock menetelmään perustuvaa simulointiohjelmaa. Lähtökohtana on käytetty MgO (100) tasoa näytepintana ja adatomina Si:tä ja SiO:ta kuvaamaan kärkeä. Saadut tulokset osoittivat, että vaikka kuvat vaihtelivat huomattavasti kärjen kemiallisesta koostumuksesta ja elektronirakenteesta riippuen ei tämä kuitenkaan aiheuttanut virhettä hilarakenteen määrittämisessä. On kuitenkin mahdollista, että monimutkaisempien pintatilojen kohdalla kärjen vaikutus voi johtaa väärään tulkintaan.

Voiman käyttäminen pinnan kuvaamisessa on yleinen periaate ja sitä voidaan yhtä hyvin soveltaa niin magneettisiin ja elektrostaattisiin voimiin kuin atomaarisiin vuorovaikutusvoimiin anturin kärjen ja näytteen välillä. Mittaukseen käytetyn voiman tyypistä riippumatta on kaikissa mikroskoopeissa kuvan 1 mukaiset kuusi peruskomponenttia:

- Jousipidin ja siihen asennettu tai sen osana oleva terävä kärki
- Poikkeaman mittauslaite, jolla mitataan jousipitimen poikkeama



Kuva 1. Kaaviokuva AFM mikroskoopin rakenteesta.  
Fig. 1. Schematic diagram of an atomic force microscope.

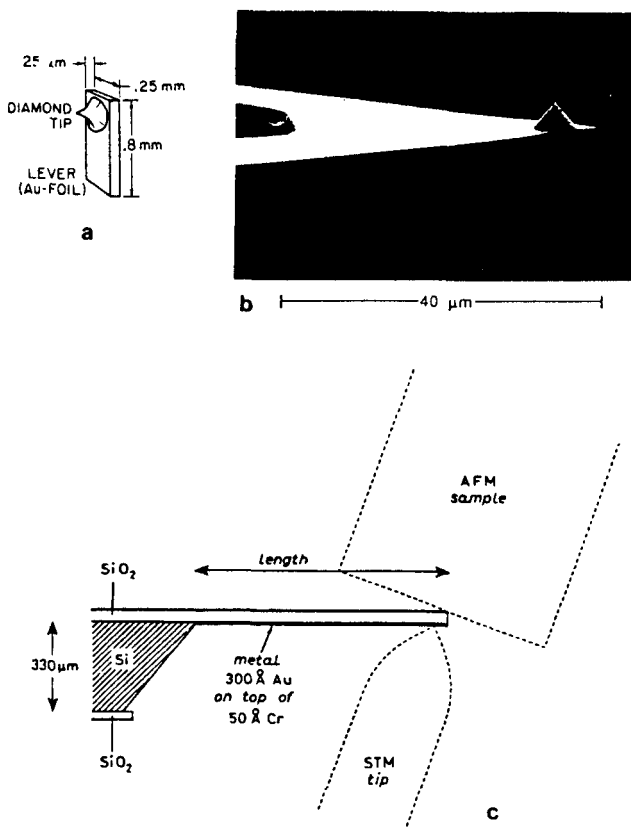
- Feedback-systeemi, jolla seurataan ja säädetään poikkeamaa (ja siten myös voimaa)
- Mekaaninen scanning-systeemi (yleensä pietsosähköinen), joka liikuttaa näytettä kärjen suhteen
- Näyttö- ja tiedonkäsittelyjärjestelmä, joka muuttaa mitatut arvot kuvaksi.
- Runko, joka on mahdollisimman hyvin ympäristöstään eristetty.

Scanning-, feedback- ja näyttöjärjestelmät ovat hyvin samantapaiset kuin tunnelointimikroskoopissa käytetyt.

Vaikka pääosat kaikissa AFM-mikroskoopeissa ovat samat, vaihtelevat käytännön toteutuksien yksityiskohdat. Tällä hetkellä useimmat kehittyneet AFM-jousipitimet on mikrovalmistettu valolitografiatekniikalla piistä, piioksidista tai piinitridistä, kuva 2. Tyypilliset lateraaliset dimensiot ovat 100 mikronin luokkaa paksuuden ollessa noin 1  $\mu\text{m}$ . Tällä geometrialla päästään jousivakion arvoihin 0.1-1 N/m ja resonanssifrekvensseihin välillä 10-100 kHz. Jousipitimeen voidaan valmistaa integroitu kärki, tai sitten erillinen timanttikärki liimataan siihen käsin.

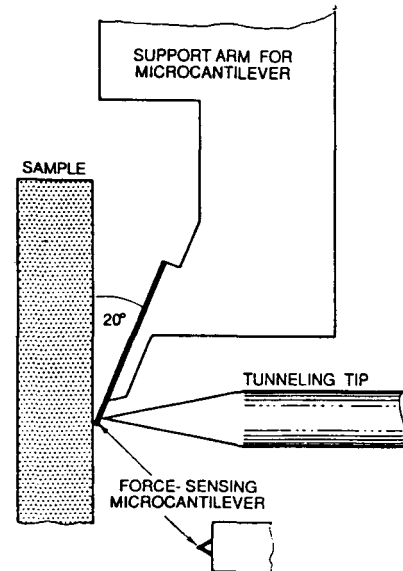
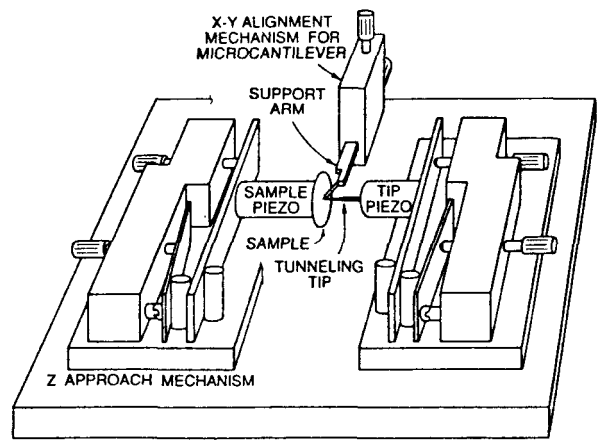
Parhaat magneettiset ja elektrostaattiset anturit on valmistettu ohuesta sähkökemiallisesti syövytetystä langasta. Syövytetyn langan geometria on kartiomainen siten, että kiinnityspinnan halkaisija on noin 10 mikronia ja kärki on alle 500 Å. Langan pää voidaan taivuttaa veitsenterällä niin, että se muodostaa kärjen.

Toinen AFM:n kriittinen komponentti on sensori, joka mittaa jousipitimen poikkeaman. Idealisella sensorilla tulisi olla alle ångströmin erotuskyky ja se ei saisi aiheuttaa voimaa jousipitimeen. Tunnelointimenetelmä, jota Binnig käytti, on erittäin herkkä: tunnelointijännite kahden johtavan pinnan välissä muuttuu eksponentiaalisesti etäisyyden funktiona, tyypillinen kerroin on 10 yhden ångströmin poikkeamalle, kuva 3. Menetelmän haittana on



**Kuva 2.** Erilaisia AFM:ssä käytettäviä jousipitimiä ja kärkiä. a. Au-kalvo ja timanttikärki<sup>[3]</sup>, b. SiO<sub>2</sub>-jousipidin, jonka kulmaa käytettiin kärkenä<sup>[7]</sup>, c. Si-erilliskiteestä valmistettu integroidulla kärjellä varustettu jousipidin<sup>[17]</sup>.

**Fig. 2.** Different types of cantilevers and tips used in AFMs.



**Kuva 3.** AFM-mikroskoopi, jossa poikkeaman mittaus perustuu STM-tekniikkaan<sup>[18]</sup>.

**Fig. 3.** Schematic diagram of an AFM which uses tunneling tip as the cantilever displacement sensor.

se, että pintojen kontaminaatio aiheuttaa erotuskyvyn huononemisen. Tämä on syynä siihen, että on siirrytty käyttämään erilaisia optisia poikkeamanmittausmenetelmiä.

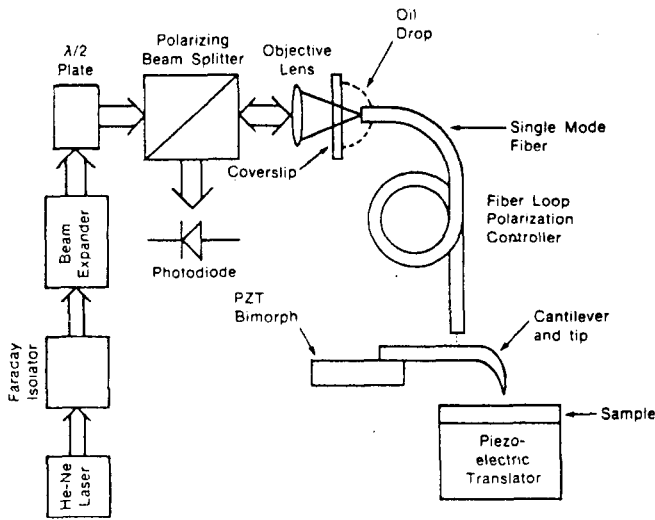
Optiset poikkeaman määrittämenetelmät voidaan jakaa kahteen päätyyppiin: interferometriseen, kuva 4 ja säteen poikkeaman mittaamiseen perustuvaan, kuva 5.

AFM:ssä käytetyt interferometriset mittausjärjestelmät ovat monimuotoiset, ja monet viimeisimmistä on toteutuksiltaan yhtä yksinkertaisia kuin säteenpoikkeamamenetelmä. Interferomenetelmän päätuna on se, että jousipitimen pinnan ei tarvitse olla heijastava. Tämä on erittäin tärkeää magneettisissa ja elektrostaattisissa mikroskoopeissa, joissa usein käytetään lankamaista jousipidintä. Myös kapasitiivista poikkeaman mittausta on käytetty, kuva 6. Käyttämällä pietsosähköistä jousipidintä voidaan poikkeama muuttaa suoraan mitattavaksi jännitteeksi.

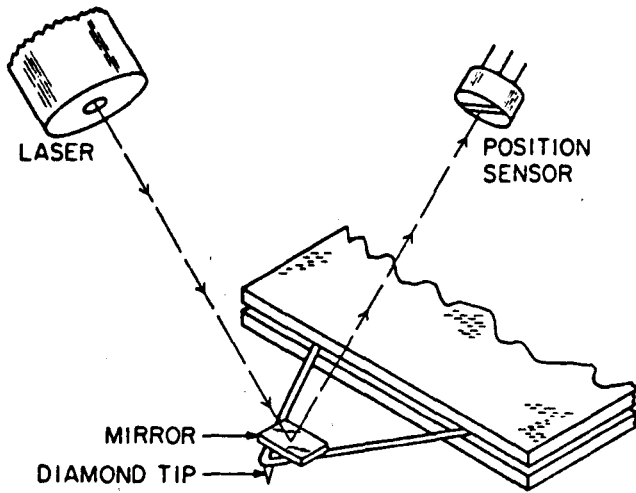
## ATOMAARINEN EROTUSKYKY

Eräs mielenkiintoisimmista AFM:llä saaduista tuloksista on se, että kärjen ollessa kontaktissa näytteeseen voidaan päästää atomaariseen erotuskykyyn.

AFM saavuttaa näin korkean erotuskyvyn sen takia, että kärkeä kuormittava voima on erittäin pieni  $F = 10^{-7}$ - $10^{-11}$  N ja näin on kärjen ja näytteen välinen kontaktipinta hyvin pieni. Tämä pieni ja hyvin kontrolloitu kuormittava voima on tärkein ero AFM:n kon-



**Kuva 4.** Interferometrisen poikkeaman mittaukseen perustuva AFM-mikroskooppi<sup>[19]</sup>.  
**Fig. 4.** Schematic diagram of an AFM which uses interferometer as the cantilever displacement sensor.



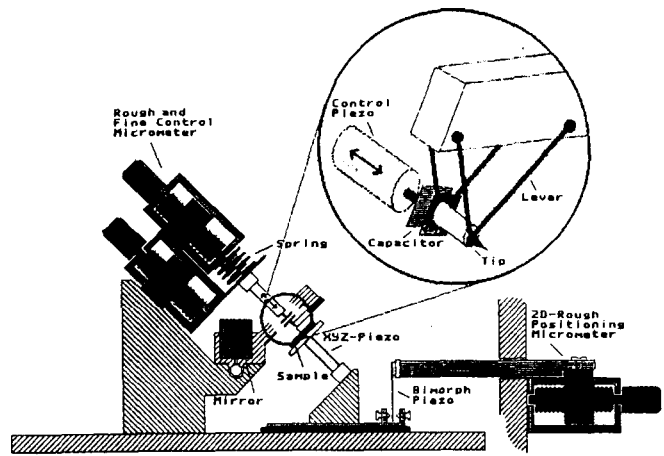
**Kuva 5.** AFM-mikroskooppi, jossa poikkeaman mittaus perustuu heijastuskulman muutokseen<sup>[20]</sup>.  
**Fig. 5.** Schematic diagram of the cantilever deflection detection by optical position sensitive sensor.

taktimoodin ja aikaisempien profilometrien välillä, joissa kuormitettava voima oli kertaluokkaa  $10^{-4}$ N.

Atomaarinen erotuskyky on saavutettu useilla erilaisilla materiaaleilla, niin johteilla kuin eristeillä. Ensimmäinen materiaali, jolla päästiin atomaariseen erotuskykyyn, oli aivan kuten STM:lläkin grafiitti ja ensimmäiset kuvat julkaisivat Binnig et al. [17]. Albrecht ja Quate [18] osoittivat ensimmäistä kertaa AFM-mikroskooppilla pystyttävän kuvaamaan eristepintaa atomaarisella erotuskyvyllä julkaistessaan kuvia orientoidun pyrolyyttisen boorinitridin atomirakenteesta. Samassa julkaisussa oli kuva molybdenisulfidin atomirakenteesta, jonka kuvaaminen STM:llä ei myöskään tahdo onnistua. Aivan viime aikoina on kuvattu myös kullan, natriumkloridi-ionikiteen, litiumfluoridin ja piin atomaarista rakennetta.

### KARKEIDEN PINTOJEN AFM-MIKROSKOPIA

Puhtaiden pintojen tutkimisen lisäksi on AFM-mikroskooppia käytetty menestyksellisesti myös ”likaisten” so. adsorbaatteja ja virheitä käsittävien pintojen kuvaamisessa ja edelleen makroskooppi-

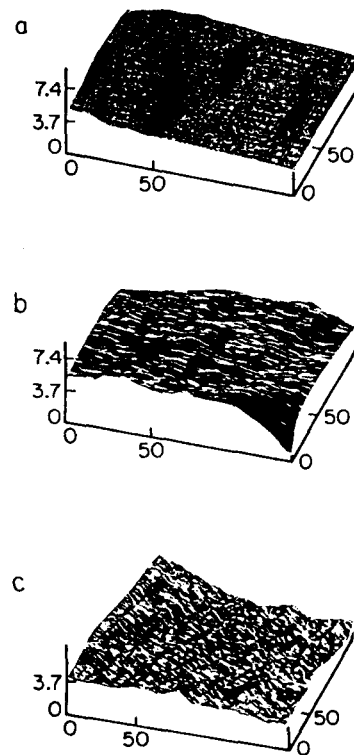


**Kuva 6.** Kapasitiiviseen poikkeaman mittaukseen perustuva AFM-mikroskooppi<sup>[21]</sup>.  
**Fig. 6.** Schematic diagram of AFM which uses capacitance detector as the cantilever displacement sensor.

sen karkeiden pintojen, kuten murtopintojen ja korroosiopintojen tutkimisessa.

Korroosiopintojen ja hapettuneiden pintojen topografian ja topografian muutosten kuvaamiseen AFM sopii erittäin hyvin, kuva 7. Muodostuvan korroosiotuotteen tai oksidikerroksen mahdollinen huono sähkönjohtavuus ei vaikeuta kuvaamista, kuten on laita STM:ää käytettäessä. Vastaavasti jää tietenkin myös puuttamaan tieto ko. ominaisuudesta.

Muutamilla vanhoilla tutkimusalueilla, esimerkiksi kitkan ja elastisuuden tutkimuksessa on havaittu uusia ilmiöitä tarkastelun tapahtuessa atomaarisella tai molekylaarisella erotuskyvyllä. Vaik-



**Kuva 7.** AFM-kuvat korroosion etenemisestä ruostumattoman teräksen pinnalla, a) elektrolyytisesti kiilloitettu pinta ja sama pinta merivedessä tehdyn korroosiokeksen jälkeen b) 15 min koeaika c) 1 h koeaika<sup>[20]</sup>, mitat nanometrejä.  
**Fig. 7.** AFM scans of corroded stainless steel.

ka makroskooppinen kitka kahden toisiaan vastaan hankaavan kiinteän kappaleen välillä on helposti mitattavissa, tiedetään kuitenkin varsin vähän niistä atomaarisista vuorovaikutuksista, jotka kitkavoiman aiheuttavat.

AFM on mahdollistanut atomaarisen kitkan tutkimisen täysin uudella tavalla. Maate et al.<sup>[9]</sup> ovat tutkineet AMF:llä atomaarista kitkaa liu'uttamalla wolframikärkeä grafiitin basaalitasolla. Tässä tutkimuksessa raportoidaan ensimmäiset havainnot, joissa pinnan atomaarinen rakenne tulee näkyviin pinnan liikekitkan muodossa. Mittaukset osoittavat, että grafiitin basaalitasolla liukuvaan wolframikärkeen vaikuttava kitkavoima noudattaa pinnan atomien jaksollista rakennetta pienillä kuormilla ( $<10^{-4}N$ ). Kun kitkavoiman suuruus ylittää tietyn kriittisen jousipitimen jousivakiosta riippuvan arvon, tapahtuu yhtäkkiä kärjen liukuminen pitkin pintaa. Tämä liukuminen noudattaa myöskin grafiittipinnan jaksollisuutta.

Brunham ja Colton<sup>[10]</sup> ovat käyttäneet AMF-mikroskooppia, joka mittaa jousipitimen kiinnitetyn kärjen ja näytteen välistä voimaa kärjen ja pinnan välisen etäisyyden funktiona. Tämä mahdollistaa sekä näytteen nanomekaanisten ominaisuuksien että kärjen ja pinnan vuorovaikutukseen liittyvien voimien tutkimisen. AMF:llä on siten mahdollista mitata nanotunkeutumalla näytteen elastista ja plastista käyttäytymistä, mikrovuutta, van der Waals'sin voimia sekä ohuen filmin ja alustan välistä adheesiota aikaisempaa paljon suuremmalla tarkkuudella. Laitteen erotuskyky voiman mittauksessa on tällä hetkellä luokkaa 1 nN ja tunkeuman erotuskyky on 0,02 nm. Näihin erittäin mielenkiintoisiin tuloksiin ei tässä yhteydessä voida tarkemmin puuttua, on vain todettava, että menetelmä avaa mielenkiintoisia mahdollisuuksia esimerkiksi ohutkalvojen ja pinnoitteiden ominaisuuksien määrittämiselle.

Tribologian tutkimus tulee mitä ilmeisemmin suuresti hyötyämään AMF-mikroskoopin käytöstä. Toinen uusi tutkimusalue on kostutuksen tutkiminen esimerkiksi voiteluaineissa, kun filminpaksuus on muutaman nanometrin luokkaa. AFM:n kontaktimoodi soveltuu myös suurten kohteitten topografian kuvaamiseen. Kokonainen verisolu, integroitu piiri tai optisen levyn tieto, ovat muutamia esimerkkejä tutkituista näytteistä. AFM:n soveltamisella teknologian tarpeisiin näyttää tällä hetkellä olevan hyvät mahdollisuudet, sillä AFM-mikroskopiolla pystytään suorittamaan kvantitatiivisia kolmidimensionaalisia mittauksia suuremmalla tarkkuudella ja useammista materiaaleista kuin millään muulla menetelmällä.

Orgaanisella puolella on myös helppoa löytää AFM:lle sovellutuksia. Tällaisia ovat esimerkiksi adsorpoituneiden orgaanisten molekyylien, kuten DNA:n ja proteiinien kuvaaminen. Näiden molekyylien hajoamisen estämiseksi on jousivoiman oltava pienempi kuin  $10^{-8}N$ . Tätä on vaikea toteuttaa ilmassa, sillä näytteen pinnalle kondensoituu ohut vesi- ja hiilivetyfilmi, joka aiheuttaa voimia anturiin. Ongelma voidaan välttää sijoittamalla näyte ja anturi nesteeseen, esimerkiksi veteen tai etanoliin.

Pienempien kuormitusten lisäksi on nestefaasisissa toimimisesta se etu, että useita biologisia näytteitä voidaan tutkia niiden fysiologisesti oikeassa ympäristössä, vedessä.

Pintaohjattavuuden mittaaminen on eräs mielenkiintoisista sovellutusalueista. Mittaamalla metallisen kärjen kautta kulkevaa virtaa voidaan määrittää näytteen pintaohjattavuus. Izhizaka et al.<sup>[11]</sup> ovat tutkineet AMF:llä Au-, Ag- ja Ni-pintojen ohjattavuutta ilmatilassa. Passiivikerroksen vaikutus pinnan sähköisiin ominaisuuksiin pystyttiin selvästi osoittamaan.

## KAUKOVAIKUTUSVOIMIEN MITTAAMINEN JA MFM

Kun anturin kärki on kontaktissa näytteen kanssa, vuorovaikutusta hallitsevat lähivaikutteiset atomien väliset voimat. Nostettaessa anturi 10-100 nm näytteen yläpuolelle, alkavat kaukovaikutusvoimat, kuten magneettiset ja elektrostaattiset voimat tulla mittaviksi. Kun kuvanmuodostus ei perustu kontaktiin, käytetään yleensä erilaista menetelmää voiman mittaukseen. Jousipitimen staattisen poikkeaman

mittaamisen asemasta jousipidin ohjataan värähtelemään lähelle sen resonanssitaajuutta kapean pietsosähköisen elementin avulla. Normaaliavoiman tai pikemminkin voimagradientin  $dF/dz$  vaikutus muuttaa jousipitimen efektiivistä jousivakiota C kaavan

$$C = C_0 + dF/dz$$

mukaan, missä  $C_0$  on eristetyn jousipitimen jousivakio. Mikäli näyte vetää anturia puoleensa, pienenee jousivakio. Tästä puolestaan seuraa resonanssitaajuuden pieneminen ja tämä pieneminen voidaan puolestaan mitata amplitudia tai taajuusmuutosta seuraamalla.

Tässä menetelmässä mittaustarkkuutta rajoittavat jousipitimen termiset värähtelyt. Huoneenlämpötilassa kuitenkin päästään  $5 \times 10^{-13} N/m$  tarkkuuteen mikä yleensä on riittävä. Tarkkuutta voidaan edelleen parantaa toimimalla alhaisemmissa lämpötiloissa.

Mittaamalla Coulombin voimia AFM:n jousipitimen kärki voi pintaa vahingoittamatta kuvata pinnan varaustiheyttä. Periaatteessa AFM-mikroskoopin erotuskyky riittää yhden elektronin varauksen havaitsemiseen. Elektronin ja kärjen välisen etäisyyden ollessa 10 nm on elektronin kärkeen aiheuttama voimagradietti  $6 \times 10^{-5} N/m$ . Vaikka tämä voimagradietti on periaatteessa havaittavissa, tarvitaan lisätyötä selvittämään mikroskoopin todelliset mahdollisuudet tällä alueella.

Mikäli anturilla on magneettinen momentti, voidaan näytteen aiheuttamaa magneettista momenttia kuvata voimalla  $M = (mB)$ . Tämä yhtälö on magnetic force microscope'n eli MFM:n toiminnan perusta. Ensimmäisissä MFM-kokeissa käytettiin anturinkärkeä, joka oli valmistettu Fe- tai Ni-langasta. Viimeaikoina on saatu hyviä tuloksia kvantierilliskiteistä valmistetuilla jousipitimillä, joissa on ohut magneettinen pinnoitefilmi.

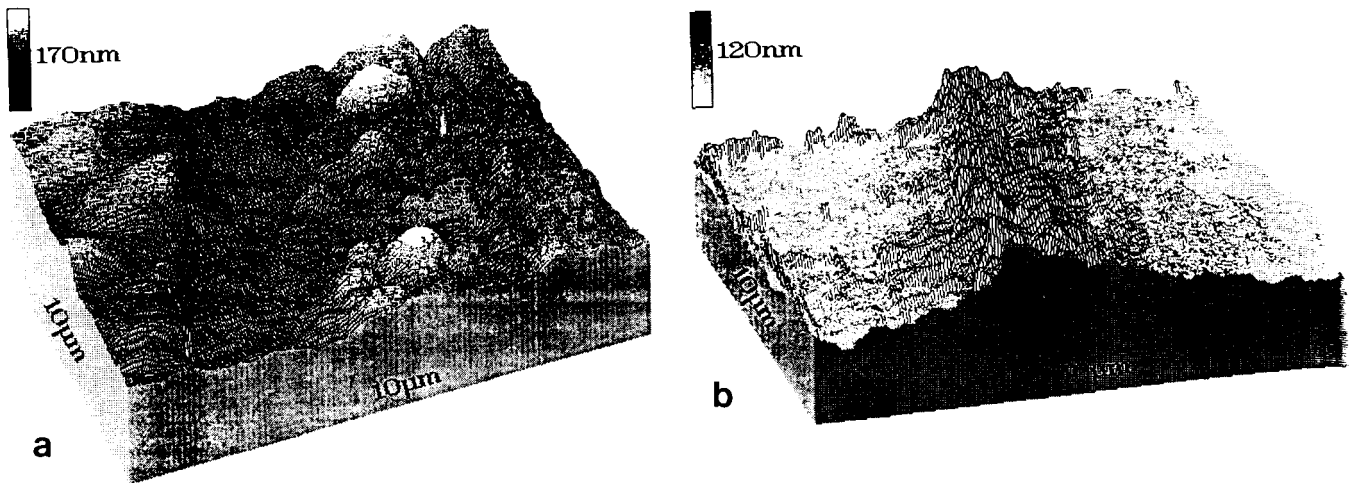
Tärkeimpänä MFM-mikroskoopin etuna kilpaileviin elektroni-suihkuteknikoihin on se, että minkäänlaista näytteen valmistusta ei tarvita. Menetelmällä voidaan myös tutkia näytteitä, jotka on päällystetty ohuella ei-magneettisella pinnoitteella. Tämä ominaisuus on erittäin tärkeä silloin, kun tutkitaan tiettyjä teknologisia tuotteita, esimerkiksi magneettisia tai magneto-optisia muistivälineitä. Magneettisten muistimateriaalien bittikuvat voivat antaa tärkeää tietoa kirjoitusprosessista, kuten bittien koosta ja muodosta, muistivälineen häiriötasosta, ylikirjoittamisen mekanismeista ja ennen muuta materiaalin mahdollisuuksista suuritiheyksiseen tallentamiseen. Kuvassa 8a nähdään AFM-kuva kaupallisen 3.5 tuuman disketin topografiasta ja kuvassa 8b MFM-kuva samalle levykkeelle kirjoitetusta bittistä. AFM-kuvassa käytettiin W-kärkeä ja MFM-kuvassa Ni-kärkeä. MFM-mikroskooppia voidaan myös käyttää pehmeitten magneettimateriaalien, kuten permalloy'n ja rautaeerilliskiteen tutkimiseen. MFM-mikroskoopin tällä hetkellä ehdottomasti tärkein tutkimusalue liittyy erilaisten magneettisten muistimateriaalien alkeisaluorakenteen kuvaamiseen. On varsin todennäköistä, että MFM-mikroskoopista tulee olemaan merkittävää apua pyrittäessä kohti yhä suurempia tallennustiheyksiä. Tätä käsitystä tukee mm. IBM:n voimakas panostus tällä alueella.

Toinen alue, joka tulee mitä ilmeisemmin myös hyötymään MFM-mikroskoopin käytöstä on neomagneettien kaltaisten materiaalien alkeisaluorakenteen tutkimus. Niiden kohdalla ohutheien valmistaminen on ongelmallista materiaalin reaktiivisuuden takia [12-16].

## YHTEENVETO

AMF-mikroskooppi tulee mitä ilmeisemmin kuulumaan STM:n rinnalla pintafysiikkatutkimuksen peruslaitteistoon. Integroituna samaan UHV-ympäristöön muiden pinta-analytiikan mittaustaitteiden kanssa sillä tulee olemaan merkittävä vaikutus puhtaitten pintojen tutkimuksessa.

AFM-mikroskooppi on mittaustaitteena poikkeuksellisen joustava, mistä johtuen sillä on lukuisia sovellutuksia tuotekehitys- ja



Kuva 8. Kaupallisen 3.5 tuuman disketin a) AFM-topografia kuva ja b) MFM-kuva levykkeelle kirjoitetusta bitistä<sup>[21]</sup>.  
Fig. 8. a) AFM micrograph showing the surface roughness of the flexible disk and b) MFM image of the digital-data bit domains.

laadunvalvontatehtävissä optisiin puolijohteisiin perustuvia tai magneettisia muistivälineitä valmistavassa teollisuudessa. Kvantitatiiviset mittaukset pinnanlaadusta magneettisten bittien muotoihin ja integroitujen piirien topologiasta voiteluaineitten paksuuteen ovat mahdollisia.

Metallurgisen tutkimuksen kannalta voidaan todeta, että AFM-mikroskooppia voidaan STM:n tavoin käyttää moniin erilaisiin tutkimuksiin. Laitteen etuna STM:n verrattuna on, että myös eristepintaa voidaan kuvata. Paksukaan oksidikerros näytteen pinnalla ei näinollen muodosta ongelmia. Lisäksi laitteella näyttää olevan mahdollista tehdä myös kovuusmittauksia ja kimmo-ominaisuuksien

määrittämiä lähes atomaarisella tasolla. Ohutkalvojen ja pinnoitusten ominaisuuksien määrittämisessä laitteella tulee todennäköisesti olemaan paljonkin käyttöä. Pintajohtavuuden tutkiminen AFM:n kontaktimoodissa johtavalla anturin kärjellä ja toisaalta pintavaarausten määrittämisen mahdollisuus ovat puolijohdeteollisuutta ja tutkimusta kiinnostavia käyttösovellutuksia.

MFM-mikroskoopin merkitys magneettimateriaalien tutkimuksessa ja kehittämisessä on ilmeinen niin muistimateriaalien, kuin kestomagneettienkin kohdalla. Neomagneettien alkeisluerakenteen ja mikrorakenteen välisten riippuvuuksien selvittämisessä MFM:n käytöllä voidaan epäilemättä saavuttaa hyviä tuloksia.

## KIRJALLISUUS — REFERENCES

- [1] Pischow, K.A., "AFM Atomic Force Microscope", Raportti 2-92 TKK-PM-MML, Otaniemi 1992.
- [2] Rugar, D. and Hansma, P., Phys. Today, Oct 1990, 23-30.
- [3] Binnig, G. and Quate, C.F., Phys. Rev. Lett. Vol. 56, No. 9, 1986, pp. 930-33.
- [4] Abraham, F.F. and Batra, P., Surf. Sci.209(1989) L 125-32.
- [5] Abraham, F.F. et al., Phys. Rev. Lett. Vol. 69, No. 13, 1988, pp. 1314-7.
- [6] Shluger, A. et al., J. Vac. Sci. Technol. A 8 (6) 1990 3967-3972.
- [7] Binnig, G. et al., Europhys. Lett. 3(12), pp. 1281-6(1987).
- [8] Albrecht, T. R. and Quate, C. F., J. Vac. Sci. Technol. A 6 (2) 1988 271-274.
- [9] Mate, M. C. et al., Phys. Rev. Lett. 59 (17) 1987 1942-1945.
- [10] Burnham, N. A. and Colton, R.J., J. Vac. Sci. Technol. A7 (4) 1989 2906-2913.
- [11] Ishizaka, T. et al., J. Vac. Sci. Technol. A8 (1) 1990 391-393.
- [12] Martin, Y and Wickramasinghe, H. K., Appl. Phys. Lett. 50 (29) 1987 1455-1457.
- [13] Martin, Y et al., Appl. Phys. Lett. 52 (3) 1989 244-245.
- [14] Hobbs, P.C.D., Appl. Phys. Lett. 55 (22) 1989 2357-2359.
- [15] Grütter, P. et al., J. Appl. Phys. 67 (3) 1990 1437-1441.
- [16] Hartmann, U., "Magnetic Force Microscopy.", Adv. Mater 2 (11) 1990 550-552.
- [17] Albrecht, T. R. et al., J. Vac. Sci. Technol. A 8 (4) 1990 3386-3395.
- [18] Albrecht, T. R and Quate, C.F., J. Appl. Phys. 62 (7) 1987 2599-2602.
- [19] Rugar, D. et al., Rev. Sci. Instrum 59 (11) 1988 2337-2340.
- [20] Alexander, S. et al., J. Appl. Phys. 65 (3) 1989 164-167.
- [21] Göddenheinrich, T. et al., J. Vac. Sci. Technol. A8 (1) 1990 383-387.

## SUMMARY

### AFM ATOMIC FORCE MICROSCOPE

A literature review about atomic force microscope and magnetic force microscope is presented. Special attention is paid for the

use of these microscopes in metallurgical research and further possibilities to employ them to this particular field are discussed.



# paino- työt

- kirjat
- sanomalehdet
- neliväriesitteet
- lomakkeet
- käyntikortit,  
kirjekuoret y.m.

PYYTÄKÄÄ TARJOUS, SE KANNATTAÄ!

# tryck- saker

- böcker
- tidningar
- fyrfärgsbroschyer
- blanketter
- visitkort,  
kuvert m.m.

BEGÄR OFFERT, DET LÖNAR SIG!



## HANGON KIRJAPAINO OY HANGÖ TRYCKERI AB

Vuorikatu 15-17 Berggatan  
10900 Hanko-Hangö  
☎ 911-84531

Helsingfors förs.kontor  
Korpasbackavägen 17 CL 4  
00300 Helsingfors

Tel. (90) 4361011  
Fax (90) 4361428

\*\*\*\*\*

**VUORITEOLLISUUS**  
**BERGSHANTERINGEN**

*toivottaa kaikille  
lukijoilleen ja  
ilmoittajilleen  
Hyvää Joulua ja  
Onnellista Uutta Vuotta*







**VUORITEOLLISUUS**  
**BERGSHANTERINGEN**

*till önskar alla sina  
läsare och  
annonsörer  
God Jul och  
Gott Nytt År*

\*\*\*\*\*

## UUSIA JÄSENIÄ — NYA MEDLEMMAR

Vuorimiesyhdistys-Bergmannaföreningen r.y.:n hallitus on hyväksynyt seuraavat henkilöt yhdistyksen jäseniksi:

### Kokouksessa 04.09.1992

**Andersson, Rolf Göran**, DI, s. 21.09.1944, varatoimitusjohtaja, Tamrock Oy. Os.: Rannikkolaivurintie 3 B, 00850 HELSINKI. Jaosto: kai.  
**Antila, Arto Esa**, DI, s. 12.09.1958, tutkija, TKK. Os.: Linnankoskenkatu 6 B 27, 00250 HELSINKI. Jaosto: met.  
**Bergström, Pekka Juhani**, 100 ov, s. 15.09.1965, opiskelija, Oulun yliopisto. Os.: Saaristonkatu 3 A 1, 90100 OULU. Jaosto: geo.  
**Engblom, Henry Gunnar**, ing., s. 24.05.1950, direktör, affärsenhetschef, Dalsbruk Oy Ab. Os.: Björknäsgatan 32, 10600 EKENÄS. Jaosto: met.  
**Hopeakoski, Aarni Mikko**, DI, s. 25.03.1950, tuoteinsinööri, Rautaruukki Oy. Os.: Valjastie 3, 90650 OULU. Jaosto: met.  
**Hosa, Tero Jukka**, FK, s. 29.08.1957, tutkija, maa-ainestutkimukset, Vesi- ja ympäristöhallitus. Os.: Asemakuja 1 D 21, 05400 JOKELA. Jaosto: geo.  
**Huuhka, Pekka Tapani**, DI, s. 11.08.1956, tuoteryhmän johtaja, Tamrock Oy. Os.: Lehmuskorventie 14, 33420 TAMPERE. Jaosto: kai.  
**Kalliollina, Sari Johanna**, 132,5, s. 03.10.1969, tuntiassistentti, TKK. Os.: Jämeräntaival 10 B 24, 02150 ESPOO. Jaosto: met.  
**Kankare, Aimo Juha Esko**, 150 ov, s. 20.08.1966. Os.: 3. linja 20 B 31, 00530 HELSINKI. Jaosto: met.  
**Kohtanen, Jussi Antero**, DI, s. 14.02.1962, työpäällikkö, murskausurakointi ja kiviainesmyynti, Siilin Sora Oy. Os.: Kaukotie 14 as. 19, 04400 JÄRVENPÄÄ. Jaosto: geo.  
**Koskinen, Juha-Pekka**, 126, 5 ov, s. 27.12.1968. Os.: Pakilantie 9 B 18, 00630 HELSINKI. Jaosto: rik.  
**Kuhanen, Pirjo Riitta**, DI, s. 16.05.1959, tutkija ja tuntiopettaja, TTKK, Materiaaliopin laitos. Os.: Opiskelijankatu 13 A 4, 33720 TAMPERE. Jaosto: met.  
**Laitinen, Lauri Jukka**, DI, s. 04.05.1961, tutkimusapulainen, GTK. Os.: Linnustajankuja 2 E 29, 02940 ESPOO. Jaosto: geo.  
**Lehtola, Kari Juhani**, DI, s. 16.04.1957, projektipäällikkö, Carelcomp Oy Data Systems. Os.: Kyntäjänkatu 2, 55700 IMATRA. Jaosto: met.  
**Makkonen, Jyrki-Petri Juhani**, 105, 5 ov, s. 08.05.1968. Os.: Kalliorinneapolis 3, 02770 ESPOO. Jaosto: met.  
**Nyberg, Johan Emil**, DI, s. 24.10.1949, produktlinjirektör, Nordkalk Oy Ab. Os.: Lindvägen 11, 21600 PARGAS. Jaosto: met.  
**Nykänen, Vesa Mikael**, 151 ov, s. 25.06.1967, opiskelija/tutkimusapulainen, ofioluottoprojekti, Oulun yliopisto. Os.: Yliopistonkatu 46/525, 90570 OULU. Jaosto: geo.  
**Posa, Tommi Kalevi**, 115 ov, s. 09.10.1965, opiskelija. Os.: Niittykatu 2 D 74, 02200 ESPOO. Jaosto: kai.

**Räisänen, Marja-Liisa Helena**, FL, s. 06.05.1955, tutkija, GTK. Os.: Saarijärventie 2 A 37, 70460 KUOPIO. Jaosto: geo.  
**Sahlman, Seppo Kalevi**, OTK, s. 22.03.1948, Rautaruukki Oy, putki- ja profiiliryhmän johtaja. Os.: Lepolantie 88, 00660 HELSINKI. Jaosto: met.  
**Somervuori, Mervi Elisabeth**, 124 ov, s. 26.01.1969. Os.: Mäntyviita 3 A 1, 02110 ESPOO. Jaosto: met.  
**Talvisto, Maria Tatjana**, 115 ov, s. 14.08.1969, opiskelija, TKK. Os.: Jämeräntaival 6 A 210, 02150 ESPOO. Jaosto: geo.  
**Tuominen, Sirkku Marjatta**, 125 ov, s. 01.08.1966, tuntiassistentti, TKK. Os.: Puruskorventie 5 B 11, 08500 LOHJA as. Jaosto: geo.  
**Tuominen, Tarmo Johan**, FK, s. 25.09.1962, geolog, Nordkalk Oy Ab. Os.: Tennbyntie 47 as 21, 21600 PARAINEN. Jaosto: geo.  
**Vuorikari, Anna-Riikka**, 170 ov, s. 28.06.1965. Os.: Kulmavuorenkatu 5 A 36, 00500 HELSINKI. Jaosto: met.  
**Ärmänen, Esa**, DI, s. 07.08.1964, taloudellisen geologian assistentti, TKK. Os.: Vieraskuja 3 A 9, 02770 ESPOO. Jaosto: geo.

### Kokouksessa 20.11.1992

**Kauhanen, Martti Olavi**, agronomi, s. 09.04.1952, toimitusjohtaja, Suomen Kuonajaloste Oy. Os.: Honkakuja 19, 90460 OULUNSALO. Jaosto: met.  
**Larkimo, Markus Juhani**, 145 ov, s. 17.03.1968, DI-työn tekijä, Fundia. Os.: Fundia, Koverhar, 25900 LAPPOLAJA. Jaosto: met.  
**Majamäki, Reijo Kalervo**, ins., s. 12.03.1951, osastopäällikkö, Teknikum Oy. Os.: Karhunpolku 20, 38210 VAMMALA. Jaosto: rik.  
**Somervuori, Sami Petteri**, 94 ov, s. 13.12.1968, opiskelija. Os.: Mäntyviita 3 A 1, 02110 ESPOO. Jaosto: kai.  
**Sormunen, Jari Pekka**, DI, s. 02.06.1959, projekti-päällikkö, Outokumpu Mining Services Oy. Os.: Kiisukatu 21 as 3, 83500 OUTOKUMPU. Jaosto: rik.  
**Tappola, Sanna Maija**, 130 ov, s. 03.05.1969, tekn.yo, 09430 SAUKKO-LA. Jaosto: kai.  
**Virtanen, Timo Tapio**, 125 ov, s. 20.02.1967, tekn.yo. Os.: Vilniementie 12 C 22, 02940 ESPOO. Jaosto: kai.

## UUTTA JÄSENIÄ —

## NYTT OM MEDLEMMARNA

**Kukkonen, Ilmo**, TkT, Geologian Tutkimuskeskus, geofysiikan osasto, geotermiset tutkimukset. Os.: Kivennavantie 26 A, 02130 ESPOO.  
**Laajoki, Kauko**, prof., toimii ajan 16.8.1992-15.9.1993 vierailevana professorina Tenneseen yliopistossa, KNOXVILLE.  
**Saksa, Pauli**, DI, toimitusjohtaja, Fintact Ky. Os.: Hopeatie 1 B, 00440 HELSINKI.

### VUORIMIESYHDISTYS — BERGSMANNFÖRENINGEN ry:n

## 50. VUOSIKOKOUS

pidetään Helsingissä 19.–20.3.1993

Kokouksesta ilmoitetaan tarkemmin myöhemmin postitettavassa kutsussa. Katsokaa myös sivulla 102 olevaa Juhlakokouksen ohjelmaa.

### VUORIMIESYHDISTYS — BERGSMANNFÖRENINGEN ry:n

## 50. ÅRSMÖTE

hålles i Helsingfors 19.–20.3.1993

Närmare uppgifter meddelas i inbjudan som postas vid en senare tidpunkt. Se även Jubileumsmötets program på sidan 102.

# Vuorimiesyhdistys — Bergsmannaförening ry:n tutkimuselosteet, kirjat ja julkaisut

## Tutkimuselosteet: sarja A

	hinta
A 9 "Rikastamoiden jätealueiden järjestely Suomen eri kaivoksilla"	20,—
A 10 "Kuulurakenteet"	20,—
A 20 "Rikastamoiden instrumentointi"	20,—
A 22 "Tulenkestävät keraamiset materiaalit"	20,—
A 24 "Kaivosten ja avolouhosten geologinen kartoitus"	20,—
A 25 "Geofysikaaliset kenttätöyt 1 — Painovoimamittaukset"	20,—
A 27 "Kallion rakenteellisten ominaisuuksien vaikutus louhittavuuteen"	45,—
A 32 "Seulonta"	40,—
A 34 "Geologisten joukkonäytteiden analysointi"	50,—
A 36b "Pakokaasukomitea — uusimpien julkaisujen sisältämät tutkimustulokset dieselmoottorien saastetuoton vähentämiseksi"	50,—
A 39 "ATK-menetelmien käyttö kallioeräkartoituksissa"	25,—
A 42 "Kaivosten työympäristö"	50,—
A 47 "Murskeen varastointi talviolosuhteissa"	40,—
A 50 "Kaukokartoitus malminetsinnässä"	100,—
A 52 "Suunnattu kairaus"	50,—
A 53 "Kivilajien kairattavuusluokitus"	50,—
A 54 "Nykyaikaiset murskauspölyt"	50,—
A 55 "Murskaus- ja rikastusprosessien asettamat tekniset olosuhdevaatimukset Suomessa"	50,—
A 56 "Pölyntorjunta kaivoksissa"	50,—
A 57 "Palontorjunta kaivoksissa"	50,—
A 58 "Paikan ja suunnan määrittäminen geofysikaalisissa tutkimuksissa"	50,—
A 59 "Utveckling av seismiska metoder för geologiska och bergmekaniska undersökningar"	50,—
A 60 "Holvautuminen purkumenetelmät"	50,—
A 61/I "Rakeisen materiaalin kosteuden mittaus"	50,—
A 62 "Luettelo Suomessa olevista ja tänne helposti saatavista elementtiyhdistyksistä"	30,—
A 63 "Avolouhoksen seinämän kaltevuuden optimointi"	50,—
A 64 "Suomessa tehdyt kallion jännitystilamittaukset"	50,—
A 65 "Kiintoaineen ja veden erotus"	50,—
A 66 "Pohjavesikysymys kalliotiloissa"	50,—
A 67 "Crosshole seismic investigation"	70,—
A 68 "Automation of a drying process"	70,—
A 69 "Rakeisen materiaalin jatkuvatoiminen kosteuden mittaus"	50,—
A 70 "Happamien ja intermediaaristen magmakivien kivilajimäärittäminen pääalkuainekoostumusten perusteella"	50,—
A 71 "Kallion tarkkailumittaukset"	50,—
A 72 "Elementtimenetelmien käyttö kaivostilojen lujuuslaskennassa"	50,—
A 73 "Crosshole seismic method"	50,—
A 74 "Pölynerotus ja ilmansuojelu"	70,—
A 75 "Heikkousvyöhykkeiden geofysikaaliset tutkimusmenetelmät"	90,—
A 76 "Teollisuusmineraaliesiintymien raaku- ja malmityyppikartoitus geofysikaalisten menetelmien avulla"	50,—
A 77 "Kaivosten jätevedet, kiinteät jätteet ja ympäristönsuojelu"	50,—
A 78 "Suomen kaivokset ja ympäristönsuojelu"	50,—
A 79 "Kaivosten kiinteiden jätteiden ja jätevesien käsittely — Ohjeita ja suosituksia"	50,—
A 80 "Hienojen raeluokkien rikastus"	100,—
A 81 "Measurement of Rock Stress in Deep Boreholes"	50,—
A 82 "Avolouhosseinämien puhdistus"	70,—
A 83 "Economical Blasting in Open Pits"	50,—
A 84 "Näytteenotto ja havainnointi kaivosteknisten kallio-ominaisuuksien selvityksissä"	50,—
A 85 "Mineralisaatioiden luokittelu taajusaaluetta spektri-IP-mittauksia käyttämällä"	100,—
A 86 "Kalliokaivojen paikantaminen"	30,—
A 87 "Syvä sähköiset malminetsintämenetelmät"	100,—
A 88 "Suomen nikkelimalmien petrofysikaaliset ominaisuudet."	150,—
A 89/I "Näytteenotto jauheista"	70,—
A 89/II "Näytteenotto jauheista"	70,—
A 91 "Panostuksen mekanisointi ja automatisointi"	70,—
A 92 "Painealvimurskain — kirjallisuusselvitys"	70,—
A 93 "Kallioperän atmogeokemiallinen tutkimus Testiprojekti 1989-90"	80,—
A 94 "Geological waste rock dilution"	100,—
A 95 "Mineraalipölyt"	80,—
A 96 "Pohjoismainen datamalliprojekti"	80,—
A 97 "Malmiarvion laatiminen"	100,—
A 98 "Uuden murskaus- ja kuljetusteknologian soveltaminen avolouhintaan."	100,—

## Koulutus- ja seminaarimateriaalit, kalliomekaniikan päivien esitelmämateriaalit sekä muut julkaisut: sarja B

B "Kalliomekaniikan päivät 1967-78, 1983-84"	50,—
B 12 "Kalliomekaniikan sanasto"	10,—
B 14 "Kaivossanasto"	8,—
B 16 INSKO 106-73 "Terästen lämpökäsittelyn erikoiskysymyksiä"	45,—
B 17 INSKO 49-74 "Skänkmetallurgi-Senkametallurgin"	45,—
B 18 INSKO 90-74 "Investoinnit ja käyttöläskenta metallurgisen teollisuuden toiminnan ohjauksessa"	45,—
B 19 INSKO 45-75 "Materiaalitoimitusten laadunvalvontakysymyksiä metalliteollisuudessa"	45,—
B 23 "Laatokan-Perämeren malmivyoikeus"	40,—
B 25 "Raakkulaimennus ja sen taloudellinen merkitys kaivos-toiminnassa"	50,—
B 27 "Uraaniraaka-ainesymposiumi"	50,—
B 29 "Kaivos- ja louhintatekniikan käsikirja"	loppuunmyyty
B 30 "Teollisuusmineraalisesiminaari"	50,—
B 32 "Valtakunnallisen geologisen tietojenkäsittelyn kehittämisesiminaari"	50,—
B 37 "Kaivoskohteiden urakkasopimusjärjestelmä"	50,—
B 38 "Tuotantomineralogian seminaari 16.1.1986"	60,—
B 39 "Maanalaisen louhintatyömaan sähköistys ja automaatio"	100,—
B 40 "Vuorimiesyhdistyksen tutkimuselosteen kirjoitusohjeet"	—
B 41 "Mineraalitekniikan tutkimuksen valtakunnallinen kehittämisohjelma 1988"	50,—
B 42 "Malminetsinnän tehtävä ja tarkoituksenmukainen organisointi Suomessa yhteiskunnan ja vuoriteollisuuden kannalta"	30,—
B 43 "Mineraalisten raaka-aineiden tarve ja saatavuus Suomessa"	loppuunmyyty
B 44 "Kalliotekniikan tutkimus- ja kehitysohjelma"	50,—
B 45 "Kairaus -89 koulutuspäivät"	loppuunmyyty
B 46 "Kalliomekaniikan päivä 89"	80,—
B 47 "Suomalainen kivi — rakennuskivipäivät Oulussa 26.-27.4.90"	loppuunmyyty
B 48 "Kalliomekaniikan päivä 1990"	120,—
B 49 "Tuotantomineralogian seminaari 1990"	100,—
B 50 "Geokemian päivät Oulussa 28.-29.11.90"	loppuunmyyty
B 51 "Suomen kallioerän kehitys ja raaka-ainevarat" Oulu 1.-2.10.1992	100,—
Vuoriteollisuus — Bergshanteringen lehti vuosikerta Suomessa	95,—
vuosikerta ulkomaille	130,—
Eero Mäkinen-mitali (pronssinen)	200,—

**Vuoriteollisuus — Bergshanteringen-lehden vanhempia numeroita myytävänä vuosikertojen täydennykseksi jäsenille hintaan 2,50/numero.**

**Julkaisuja ja lehtiä voi tilata yhdistyksen rahastonhoitajalta kirjallisesti osoitteella:**

**Vuorimiesyhdistys — Bergsmannaföreningen r.y.  
c/o Outokumpu Oy/M. Parkkinen  
PL 280, 02101 ESPOO  
tai telefax 90-4213888**

LuK Marjatta Parkkinen hoitaa Vuorimiesyhdistyksen jäsenrekisteriä. Mikäli osoite, tehtävät tai vakanssi on muuttunut, pyydämme lähettämään muutosilmoituksen kirjallisena siinä muodossa, jossa haluatte sen "Uutta jäsenistä" palstalle.

Os.: Vuorimiesyhdistys-Bergsmannaföreningen r.y.  
c/o Outokumpu Oy/M. Parkkinen  
PL 280, 02101 ESPOO  
tai telefax 90-4213888

NatK Marjatta Parkkinen sköter om Bergsmannaföreningens medlemsregister. Om er adress, arbetsuppgifter eller tjänst har ändrats, anhåller vi om skriftlig ändringsanmälan, till "Nytt om medlemmarna" spalten.

Adr.: Vuorimiesyhdistys-Bergsmannaföreningen r.y.  
c/o Outokumpu Oy/M. Parkkinen  
PB 280, 02101 ESBO  
eller telefax 90-4213888

ILMOITTAJAT – ANNONSÖRER

- BOART OY
- FINNPROSPECTING Ky
- FUNDIA AB
- GEOLOGIAN TUTKIMUSKESKUS
- HANGON KIRJAPAINO Oy
- HÖGFORS, Sento Oy
- IMATRA STEEL Oy Ab
- Oy JA-RO Ab
- LAROX Oy
- LOKOMO Oy
- NORDKALK Oy Ab
- AUTOKUMPU COPPER Oy
- AUTOKUMPU ENGINEERING Oy
- AUTOKUMPU MINING SERVICES Oy  
Geoanalyttinen laboratorio
- AUTOKUMPU POLARIT Oy
- RAUMA ECOPLANNING Oy
- RAUMA Oy, Nordberg Group
- RAUTARUUKKI Oy
- Oy ROLAC Ab
- Insinööritoimisto SAANIO & RIEKKOLA Oy
- SUOMEN MALMI Oy
- TAMFELT Oy Ab
- TAMROCK Oy
- Oy TRELLEX Ab
- Oy UDDEHOLM Ab
- VALTION TEKNILLINEN TUTKIMUSKESKUS VTT,  
Mineraalitekniikan laboratorio
- VIHTAVUORI Oy
- WARMAN INTERNATIONAL SCANDINAVIA Oy



*Hyvää Joulua ja  
Onnellista Uutta Vuotta*



*God Jul och  
Gott Nytt År*



SUORITETTUA TUTKINTOJA —  
AVLAGDA EXAMINA

OULUN YLIOPISTO

Geofysiikan laitos

Filosofian maisterit:

**Heikkinen, Eero:** "Tasavirta- ja induoidun polarisaation mittausten mallinnuksesta".

**Jokinen, Jarkko:** "Sähkömagneettisten pulssimenetelmien poranreikäsovellutukset".

TEKNILLINEN KORKEAKOULU, OTANIEMI

Konetekniikan osasto

Tekniikan tohtori:

Tekniikan lisensiaatti **Juhani Erik Eklundin** väitöskirja "On the effects of impurities on the solidification and mechanical behaviour of primary and secondary commercial purity aluminium and aluminium alloys" tarkastettiin perjantaina 9.8.1991 Teknillisen korkeakoulun konetekniikan osastolla. Virallisena vastaväittäjänä toimi dosentti Ingvar L. Svensson ja valvojana professori Jouko J. Vuorinen.

The effects of impurities on the solidification and mechanical behaviour of commercial purity aluminium, aluminium-silicon (7-12%) and aluminium-copper (4%) alloys have been studied. The research work covered the examination of as cast microstructures, the simulation of the formation of as cast microstructures, as well as the examination of mechanical behaviour of primary and secondary test materials. A comparison viewpoint between primary and secondary materials was adopted because of the different production methods of these materials. The aim was, accordingly, to determine the usability of secondary casting ingots as raw materials for aluminium castings.

The present study indicates that the intermetallic impurity rich compounds of AlFeSi, AlMnSi, and AlFeMnSi types possess a tendency to block the intergranular/interdendritic feeding channels of aluminium-silicon casting alloys. Analogous structures for aluminium-copper alloys may be labelled as AlFeCu, AlMgCu, and AlFeMgSi types of intermetallic compounds. These harmful impurity compounds favouring the formation of shrinkage porosity do not precipitate until during the solidification of aluminium metals, and may therefore not be eliminated by means of ceramic filters.

The control of cooling conditions, in addition to the performance of filtration treatment, seems to be important in order to prevent the formation of sludge in the microstructure of aluminium metals. The hard and brittle aluminium oxide films appear on the fracture surfaces of aluminium metals in spite of the performance of filtration treatment. The excessive amount of manganese as a transition metal seems to be deleterious due to the formation of harmful AlFeMnSi type intermetallic compounds.

The brittle impurity rich compounds such as FeAl<sub>3</sub>, FeAl<sub>6</sub>, FeSiAl<sub>5</sub>, Fe<sub>2</sub>Si<sub>2</sub>Al<sub>9</sub>, Fe<sub>3</sub>SiAl<sub>12</sub>, Fe<sub>3</sub>Si<sub>2</sub>Al<sub>12</sub>, FeMg<sub>3</sub>Si<sub>6</sub>Al<sub>18</sub>, Mg<sub>2</sub>Si<sub>2</sub>Mg<sub>2</sub>Al<sub>3</sub>, Mg<sub>5</sub>Al<sub>8</sub>, and Al<sub>7</sub>FeCu<sub>2</sub> as well as Al<sub>8</sub>FeMg<sub>3</sub>Si<sub>6</sub> can be regarded as characteristic features of the fracture surfaces of secondary aluminium-silicon and aluminium-copper alloys, respectively.

The utilization of derivative thermal analysis (DERTA) in connection with gradient solidification quenching (GSQ) technique can be considered as a restricted method for the identification and determining the formation temperatures of the impurity rich compounds in connection with aluminium metals.

Materiaali- ja kalliotekniikan laitos

Tekniikan lisensiaatti:

**Oksanen, Jarmo:** "Kallion seurantamittaukset kaivostilojen lujuuslaskennassa".

Tämä työ on tehty osana "Kaivostilojen lujuuslaskenta"- ja "Kallion seuranta"-projekteja, joiden tarkoituksena oli elementtilaskentatekniikan soveltaminen käytännön kaivossuunnitteluun. Tutkimuksessa käsiteltiin Rautaruukki Oy:n Rautuvaaran kaivoksen ja Outokumpu Oy:n Kotalahden kaivoksen louhossuunnittelua.

Reunaelementtianalyysillä saadaan nopeasti kuva kriittisistä alueista. Käytetty ohjelma hyväksyy vain yhden materiaalin, minkä vuoksi ohjelmistoon olisi saatava useamman materiaalin hyväksyvä ja kolmidimensioinen ohjelma. Rakoilun huomioiva finiittielementtiohjelma JTROCK on monipuolisissa tässä tutkimuksessa käytetyistä ohjelmista. Kun mallinnettavassa kohteessa esiintyy merkittävästi rakoilua se on huomioitava. Lineaarisesti elastista mallia käytettäessä joudutaan väärin johtopäätöksiin.

Tärkein materiaaliominaisuus, joka laskennoissa tarvitaan on kalliomasan muodonmuutoskerroin, jonka määrittämiseen on tässä työssä käytetty vasara- ja poranreikäseismisiä luotauksia.

Tässä työssä kallion liikuntoja on tutkittu ekstensometrein, konvergenssimittauksin ja vaatuksin. Jännitysmuutosten mittaamiseen on käytetty jatkuvatoimisia Hastin kennoja. Seurantalaitteiden automaattinen lukulaite mahdollistaisi liikuntojen jatkuvan tarkkailun. Seurantatulokset on esitettävä havainnollisissa muodossa ja niille on määrättävä odotusarvot.

Vertailut elementtilaskentojen tulosten ja kentällä suoritettujen mittaustulosten välillä osoittavat, että heikkousvyöhykkeet on huomioitava mallissa. Vajjeripulituksen sisällyttäminen laskentaohjelmistoon on tarkemman mitoituksen ehtona.

Diplomi-insinöörit:

**Aartolahti, Jyrki-Veli:** "Kalliorakenteen tutkimus- ja mitoitusmenetelmät".

**Hindström, Sami Petter Tapio:** "Sekoituksen vaikutus vaahdotustuloksiin mekaanisessa vaahdotuskoneessa".

**Kajanen, Juhana:** "Tutkimus- ja suunnittelutietokantojen yhdistäminen eräissä CAD-järjestelmissä".

**Karjalainen, Jouni:** "Ympäristötekijöiden vaikutus pohjalouhintakustannuksiin".

**Kaskiala, Markku Juhani:** "Lämmönsiirron perusteita kromiitipellettien nauhasintrausprosessissa".

**Krogerus, Olli:** "Metallihydridien käyttö vedyn varastoinnissa".

**Kärkkäinen, Mikko:** "Kupariputken planeettavalssaimen valssien materiaalinvalinta".

**Matikainen, Marjo:** "Suljetun makeavesijärjestelmän korroosionesto".

**Miettinen, Vesa:** "Hydraulinen nosto ja kuljetus".

**Mäkelä, Jukka:** "Geologiset ympäristövaikutukset kalliotilojen louhinnassa".

**Onnela, Jouni Antti:** "Sulfaatti-ionin vaikutus ruostumattomien terästen pistekorrosioon kloridiliuoksessa".

**Rantanen, Ari:** "Syvävedon mallintaminen elementtimenetelmällä".

**Reinikainen, Tommi:** "Conform-pursotusprosessin mallintaminen elementtimenetelmällä".

**Suutarinen, Kalle:** "Kaksoisfloataation käyttö huonolaatuisen raakaveden puhdistuksessa".

**Taipale, Petri Henri Olavi:** "Hopean saostus kloridiliuoksesta".

**Vuorikari, Anna-Riikka:** "Epätasainen rakenne kupariputkissa".

**Westermarck, Johan:** "Korrosion av rostfria stål i sulfatmassaindustrins processkemikalier".



# In Memoriam



**TOIVO KALERVO TYYNELÄ**  
24.5.1921 – 7.5.1992



**ILPO OLAVI LAITI**  
9.2.1920 – 26.8.1992

Viime toukokuussa edesmennyt DI Toivo Kalervo Tyynelä oli ansioitunut metallurgi, joka toimi lukuisissa tehtävissä alallaan.

Hän tuli ylioppilaaksi Sortavalan Lyseosta talvisodan tauottua toukokuussa 1940.

Toivo oli erittäin kyvykäs henkilö, luokkamme priimus. Lyseon rehtori fil.tri Uno Karttunen huomasi tietyksi hänen kykynsä ja käytti Toivosta lempinimeä Toivo-Spe.

Koko ikäluokkansa tavoin tämänkin abiturientin elämä muuttui äkkiä 30.11.1939 kenttäharmaaksi nuoruudeksi.

Talvisodassa palvelimme Er. Pataljoona 35:ssä, Toivo taistelulähtetähtiläupseerina. Moskovan rauhan tapahduttua teimme varmasti ainutlaatuisen "lomamatkan" Säkkijärveltä kotiin Sortavalaan 13.-14.3.1940. Tunnuslause oli: Vielä kerran kotiin ennenkuin luukku sulkeutuu.

Jatkosodassa Toivo palveli tulenjohto- ja patteriupseerina Terijoella, 28. Järeä Patteristossa.

Rauhan tultua Toivo kirjoittautui Polyteeknikouluun ja menestyi luonnollisesti erinomaisesti metallurgina. Suoritettuaan DI-tutkinnon 1951 hän toimi alussa TTK:ssa metallurgian tutkimus- ja opetusassistenttina. Siirryttyään sitten teollisuuteen hän oli Otanmäki Oy:ssa, Vuorikemia Oy:ssa, Oy Vuoksenniska Ab:ssa, Oy Rosenlew Ab:ssa ja Machinery Oy:ssa merkittävässä asemassa. Sivutoimet käsittivät TTK:n erikoisopettajan tehtävän ja vt. apulaisprofessorin TTK:ssa.

Ikäluokkansa tavoin Toivon ansiot olivat kahtalaiset: Sota ja Rauha eli maanpuolustus ja -jälleenrakennus. Ins.kapt., VR 4 ja VR 4 tlk.

Traagisella tavalla hän sairastui vakavasti 80-luvun alussa. Ei voinut enää tehdä sitä työtä, johon hänen kykynsä ja taitonsa olisivat antaneet edellytykset. Invalidina hän oli tuomittu vuodepotilaaksi. Urheasti Toivo kantoi vaikean sairautensa taakan.

Hyvän ystävän, aseveljen ja luokkatoverin muistoa kiintymyksellä kunnioittaen sekä osallistuen perheen suruun.

Pentti Mäkinen

Vuorimiesyhdistys r.y:n metallurgijaoston jäsen Toivo Kalervo Tyynelä oli vuodesta 1953 lähtien.

Toimitus

Geologi Ilpo Laiti kuoli 26.8.1992. Hän oli syntynyt Helsingissä 9.2.1920. Talvisotaan hän lähti suoraan koulun penkiltä ja suoritti ylioppilastutkinnon Tehtaanpuiston yhteiskoulussa välirauhan aikana. Pääosan jatkosodan ajasta luutnantti Laiti toimi topografiaupseerin tehtävissä ja sotien jälkeen hänet ylennettiin yliluutnantiksi.

Geologian opinnot Helsingin yliopistossa pääsivät alkamaan vasta kun isänmaalliset velvollisuudet oli täytetty. Filosofian kandidaatintutkinnon Ilpo Laiti suoritti 1952. Samana vuonna hän aloitti vuoteen 1972 jatkuneen opetustyönsä Teknillisen korkeakoulun Vuoriteollisuusosastossa, aluksi assistenttina ja myöhemmin lehtorina. Hän ehti siis opettaa geologian ja mineralogian perustietoja parillekymmenelle vuosikurssille teekkareita niin vuoriteollisuus- kuin muutamilla muillakin osastoilla. Kotikaupunkinsa Helsingin erinomaisesti tuntien, hänen ei ekskursioillaan tarvinnut rajoittua vain puhtaasti geologisiin kohteisiin, vaan tietoa näytti riittävän loputtomasti myös rakennuskivistä, rakennusten suunnittelijoista ja tyyleistä sekä patsaiden materiaaleista ja tekijöistä. Aina mahtui mukaan myös perusteellinen selvitys aiheen historiallisesta taustasta ja ripaus huumoriakin. Teekkarien keskuudessa varsin pidetty opettaja tunnettiin lempinimellä "Turrrmaliini".

Kesäisin geologin veri veti kuitenkin kenttätöihin. 1950-luvun loppupuolelta alkaen Ilpo Laiti toimi lähes joka kesä Geologisen tutkimuslaitoksen kallioperäkartoitustehtävissä ja vuodesta 1976 lähtien se muuttui hänen päätyökseen, jonka tuloksina syntyivät Ähtärin, Mäntän, Enon ja Joensuun kallioperäkarttalehdet. Jäädesään vuonna 1987 eläkkeelle Geologian tutkimuskeskuksen kallioperägeologin tehtävistä Ilpo Laitilla oli takanaan lähes 40 vuotta valtion palvelusta sodan ja rauhan tehtävissä.

Pääasiallisesti opetustoimeen liittyneen oman kirjallisen tuotantonsa lisäksi Ilpo Laiti toimi Geologi-lehden toimittajana vuosina 1962-1964 ja Suomen Geologisen Seuran Bulletinin toimittajana vuosina 1979-1981. Vuorimiesyhdistyksen Geologijaoston jäsen hän oli vuodesta 1954 ja sen sihteerinä hän toimi vuosina 1956-1959.

Ilpo Laiti on poissa, mutta hänen opetuksensa elää monien insinöörisukupolvien ammattitaidossa ja hänen kynänsä jälki näkyy laajassa osassa Suomen kallioperäkarttaa.

Ilkka Laitakari



**MARTTI KALEVI TUUMINEN**  
10.11.1948 – 22.9.1992



**ANDERS JERNSTRÖM**  
25.5.1913 – 19.10.1992

Syyskuun 22. päivänä saapui järkyttävä viesti Etelä-Afrikasta kertoen, että varatoimitusjohtaja, Martti Tuuminen oli menehtynyt äkilliseen sairaskohtaukseen Johannesburgissa. Martti oli syntynyt Helsingissä marraskuun 10. päivänä 1948.

Martti tunnettiin todellisena ulkomaantoimintojen edistäjänä. Jo opiskelunaikainen harjoittelu suuntautui ulkomaille kielitaidon hankkimiseksi. Kauppätieteiden maisteriksi valmistumisen jälkeen hän syvensi markkinointitaitojaan Suomen Ulkomaankauppaliiton palveluksessa.

Martin elämäntyöksi muodostui ponnistelu suomalaisen kaivos- ja metsäkoneiden laaja-alaisen vientikaupan hyväksi hänen astuessaan vuonna 1973 Orion-yhtymä Oy Normetin palvelukseen.

Hän oli perustamassa Normetin ulkomaisia tytäryhtiöitä, mm. Normet S.A.:n Pariisiin vuonna 1974 toimien sen toimitusjohtajana vuoteen 1985, jolloin hän muutti takaisin Suomeen.

Martti oli aktiivisesti kehittämässä Finnminers-työryhmän toimintaa toimien mm. sen puheenjohtajana.

Hän oli luonteeltaan idearikas uusien asioiden innokas kokeilija ja piti kovasti kansainvälisestä ilmapiiristä erilaisine kulttuureineen. Perheelle ja lähiomaisille menetys on raskas. Työtoverit ja laaja tuttavapiiri kotimaassa ja ulkomailla tulevat muistamaan Martin taitavana, lojaalina ja inhimillisenä ystävänä.

Seppo Kovalainen

Vuorimiesyhdistys r.y.:n kaivosjaoston jäsen Martti Kalevi Tuuminen oli vuodesta 1991 lähtien.

Toimitus

Anders Jernström gick ur tiden den 19 oktober 1992. Han föddes i Helsingfors den 25 maj 1913 och blev student 1933. Vid sidan av att han i många år deltog i kriget avlade han diplomingenjörsexamen vid Åbo Akademis kemiska fakultet 1943.

Efter att en kort tid ha verkat vid Wärtsilä Cellulosa Ab övergick han 1946 i Oy Vuokseniska Ab:s tjänst i Imatra och fungerade där som chef för stålsmältverket och sedermera som chefsmetallurg. Efter att ha deltagit i planeringen av första skedet i Koverhar flyttade han till Åminnefors Bruk, som då tillhörde Oy Fiskars Ab. I Åminnefors verkade han som chef för smältverket. 1970 behövdes han åter i Koverhar som chef för det nya stålverket. 1974 utnämndes han till platschef i Koverhar, varifrån han pensionerades 1976.

Anders Jernström var en ovanligt kreativ och utvecklingsvillig person, vars arbetsresultat går till historien. Nämnas kan hans centrala insats för utvecklandet av Martinugnspraktiken i Åminnefors till internationell toppnivå samt hans oersättliga roll vid ingångskörningen av Koverhar stålverk.

Anders Jernström var en utomordentligt inspirerande ledare, som alltid hade ett uppmuntrande ord till övers också i svåra situationer. Han var en sällskapsmänniska utan like, och hans humor är oförglömlig om än berättaren själv är borta.

Vid sidan av arbetet betydde skärgårdslivet oerhört mycket för Anders Jernström. Detta hade han tillfälle att förverkliga på sitt natursköna sommarställe på Tigerudd i Finby.

Anders Jernström var medlem i Vuorimiesyhdistys — Bergsmannaföreningen r.y.:s metallurgisektion från och med år 1946.

Pertti Kostamo

Tilastotietoja vuoriteollisuudesta v. 1991  
Ylitarkastaja Urpo J. Salo

Kaivos	Kunta	Tärkeimmät arvoaineet	Haltija	Yhteensä nostettu tn	Malmia tai hyötökiveä tn	Kaivostyöntekijöitä keskimäärin			Kaivoksessa suoritettuja työtunteja	
						avolouhes	maan alla	yht.		
<b>Malmikaivokset</b>										
1. Kemi	Keminmaa	Cr	Outokumpu Chrome Oy	4 750 465	878 885	64	—	64	110 664	
2. Pyhäsalmi	Pyhäjärvi	Cu, Zn, S	Outokumpu Finminnes Oy	1 437 093	1 042 093	2	105	107	181 380	
3. Saattopora	Kittilä	Au	Outokumpu Finminnes Oy	1 154 843	524 355	31	1	32	56 363	
4. Vihanti	Vihanti	Zn, Cu, Pb	Outokumpu Finminnes Oy	1 049 589	1 004 322		66	66	94 242	
5. Enonkoski	Enonkoski, Savonlinna	Ni, Cu	Outokumpu Finminnes Oy	875 927	668 350	1	53	54	86 061	
6. Vammala	Vammala	Ni, Cu	Outokumpu Finminnes Oy	604 622	581 087		55	55	91 225	
7. Hitura	Nivala	Ni, Cu	Outokumpu Finminnes Oy	497 390	396 390		38	38	64 314	
8. Telkkälä	Taipalsaari	Ni	Outokumpu Finminnes Oy	223 474	188 994		9	9	15 760	
9. Mullikkoräme <sup>1)</sup>	Pyhäjärvi	Zn, Cu, S	Outokumpu Finminnes Oy	171 587	171 587		5	5	9 000	
10. Hälvälä	Kerimäki	Ni	Outokumpu Finminnes Oy	60 013	32 173					
Malmikaivokset 10 kpl				Yhteensä	10 825 804	5 488 236	98	332	430	709 009
<b>Kalkkikaivokset</b>										
1. Parainen	Parainen	Klk	Oy Partek Ab	1 757 851	1 564 765	23	4	27	47 604	
2. Ihalainen	Lappeenranta	Klk, Wol	Oy Partek Ab	1 519 374	1 229 189	20	—	20	34 500	
3. Tytyri	Lohjajarvi	Klk	Lohja Oy Ab	679 786	679 786		55	55	89 064	
4. Mustio	Karjaa	Klk	Lohja Oy Ab	578 185	321 185	12	—	12	20 217	
5. Ruokojärvi	Kerimäki	Klk, Dol	Ruskealan Marmorio Oy	311 200	296 940	1	15	16	25 575	
6. Vampula	Vampula	Dol	Oy Partek Ab	272 267	251 799	3	—	3	6 177	
7. Ryytimaa	Vimpeli	Dol	Oy Partek Ab	261 579	189 345	5	—	5	8 190	
8. Sipoo	Sipoo	Klk, Dol	Lohja Oy Ab	203 200	203 200	—	17	17	29 700	
9. Siikainen	Siikainen	Dol	Oy Partek Ab	196 726	190 574	3	—	3	5 136	
10. Förby	Särkisalo	Klk	K. Forsström Ab	148 031	132 115	—	16	16	24 875	
11. Siivakkala	Vampula	Dol	Oy Partek Ab	112 876	44 900					
12. Kalkkimaa	Tomio	Dol, Kv	Saxo Oy	95 314	95 314	1	—	1	2 500	
13. Ankele	Virtasalmi	Dol	Saxo Oy	67 400	38 992	1	—	1	1 920	
14. Sinermäpalo	Kittilä	Mar	Lapin Marmorio Oy	4 450	450	1	—	1	1 152	
15. Rantamaa	Tervola	Dol	Lapin Marmorio Oy	2 288	2 288				64	
16. Paltamo	Paltamo	Dol	Juuan Dolomiittikaikki Oy	16 400	15 000	1	—	1	1 500	
17. Juuka	Juuka	Dol	Juuan Dolomiittikalkki Oy	8 400	8 400	1	—	1	1 800	
Kalkkikaivokset 17 kpl				Yhteensä	6 235 327	5 263 842	72	107	179	299 973
<b>Mineraalikaivokset</b>										
1. Siilinjärvi	Siilinjärvi	P, Klk	Kemira Oy	7 601 217	5 782 213	73	—	73	124 339	
2. Lahnaslampi	Sotkamo	Tlk, Ni	Finnminerals Oy	923 819	459 819	15	—	15	27 662	
3. Horsmanaho	Polvijärvi	Tlk, Ni	Finnminerals Oy	473 168	276 732	2	—	2	5 279	
4. Kinahmi	Nilsia	Kv	Lohja Oy Ab	248 401	243 827	3	—	3	5 500	
5. Lipasvaara	Polvijärvi	Tlk, Ni	Finnminerals Oy	211 948	118 433	6	—	6	10 361	
6. Tulikivi	Juuka	Vuolukivi	Suomen Vuolukivi Oy	228 810	59 607	24	—	24	39 900	
7. Kemiö	Kemiö	Ms, Kv	Lohja Oy A b	245 105	209 824	4	—	4	7 180	
8. Nunnanlahti	Juuka	Vuolukivi	Nunnanlahden Uuni Oy	121 285	33 018	14	—	14	22 648	
9. Vartsila	Nilsia	Kv	Lohja Oy Ab	21 036	21 036	—	—	—	165	
10. Repovaara	Polvijärvi	Tlk, Ni	Finnminerals Oy	9 371	9 134	—	—	—	434	
11. Mönkkölä	Savonranta	Vuolukivi	Top-Stone Oy							
Mineraalikaivokset 11 kpl				Yhteensä	10 084 160	7 213 643	141		141	243 468
<b>Muut kaivokset: Vuorivillan ja Sementinvalmistuksen kiviaineksia</b>										
1. Näträmällä	Imatra	Al, Fe, Mg	Paroc Oy Ab	44 881	44 881				368	
2. Ybbermä	Parainen	Al, Fe, Mg	Paroc Oy Ab	19 800	19 800				1 510	
3. Sallittu	Suomusjärvi	Al, Fe, Mg	Paroc Oy Ab	51 500	51 500				2 750	
4. Kuurmanpohja	Joutseno	Al, Fe	Paroc Oy Ab	22 794	22 794				336	
Muut kaivokset 4 kpl				Yhteensä	138 975	138 975	3		3	4 964
Kaikki kaivokset 42 kpl					27 284 266	18 104 696	314	439	753	1 257 414
<sup>1)</sup> toiminta päättyi										

**Rikasteiden, metallien, mineraalien ja sementin tuotanto**

	1989	1990	1991
<b>Rikasteet tonnia</b>			
Rikkirikaste	737 796	671 661	724 114
Kromirikaste, palarikaste ja valuhiekka	498 572	489 265	458 018
Fe-pasute, Siilinjärvi ei käyttöä, varastoitu	267 700	233 000	203 000
Nikkelirikaste	130 552	135 397	121 259
Sinkkirikaste	112 787	99 084	107 519
Kuparirikaste	56 746	52 449	43 883
Lyijyrikaste	4 868	4 104	2 938
<b>Metallit ja metallurgisia tuotteita tonnia</b>			
Raakateräs	2 921 281	2 860 500	2 890 000
Raakarauta	2 284 032	2 283 000	2 331 500
Jaloteräs (aihiot)	192 212	226 017	258 200
Ferrokromi	169 084	156 518	190 000
Sinkki	162 508	174 923	170 389
Katodikupari	55 689	65 103	64 433
Katodinikkeli	13 355	16 882	13 847
Kadmium	612	569	592
Koboltti	292	333	266
Elohopea/kg	158 679	140 972	74 000
Hopea/kg	31 127	28 508	30 332
Seleen/kg	27 969	31 160	35 210
Kulta/kg	2 510	2 813	2 240
<b>Mineraalit tonnia</b>			
Kalkkikivi yhteensä	4 338 073	4 753 600	3 864 300
Kalkkikiven käyttö			
– Sementin valmistus	2 107 245	2 397 000	1 714 000
– Maanparannuskalkki	1 187 852	1 269 000	1 119 800
– Kalkinpolto	464 044	439 000	396 600
– Rouheet, tekn.jauheet ym.	578 932	648 600	633 900
Apatiitti	579 690	546 134	472 459
Talkki	397 835	385 207	360 790
Kvartsi	273 935	276 373	200 987
Vuorivillakivi	184 100	153 000	124 412
Maasälpä	54 581	52 630	53 337
Vuolukivituotteita	31 857	33 570	30 583
Wollastoniitti	31 436	29 570	27 844
Kiillerikaste	—	—	4 693
<b>Sementti tonnia</b>	<b>1 596 100</b>	<b>1 666 600</b>	<b>1 324 000</b>

## Vuorimiespäivät ja yhdistyksen 50-vuotisjuhlakokous 19.-20.3.1993

### Alustava ohjelma

#### Perjantai 19.3.1993

1. *Juhlakokous, Marina Congress Center* *klo 9.30-11.00*
- |                               |   |
|-------------------------------|---|
| <i>Musiikkia</i>              | Polyteknikkojen orkesteri   |
| <i>Avauspuhe</i>              | Prof. Raimo Matikainen  |
| <i>Valtiovallan tervehdys</i> | Kauppa- ja teollisuusministeri Pekka Tuomisto                             |
| <i>Juhlaesitelmä</i>          | Pääjohtaja Markku Mannerkoski, VTT: "Suomen<br>vuoriteollisuuden näkymät" |
| <i>Musiikkia</i>              | Polyteknikkojen orkesteri   |
| <i>Ansiomitalien jako</i>     |   |
| <i>Musiikkia</i>              | Polyteknikkojen orkesteri   |
2. *Tauko* *klo 11.00-11.30*
3. *Juhlaseminaari, Marina Congress Center* *klo 11.30-12.45*
- Sir Arvi Parbo, Western Mining Corp.: "The Global  
Success Factors within the Mining and Metallurgical Industry"  
Secretary General Lenhard Holschuh, IISI: "Future  
Prospects for the World Steel Industry"
4. *Lounas* *klo 13.00-14.30*
5. *Seminaari jatkuu, Marina Congress Center* *klo 14.30-17.00*
- Mining session* Ylijohtaja Veikko Lappalainen, GTK: "Suomen raaka-  
ainepoliittinen merkitys"  
Prof. Toimi Lukkarinen: "Virstanpylväät Suomen  
rikastustekniikassa"  
Joht. Juhani Tanila, Outokumpu Oy: "Outokummun  
kaivosteollisuuden strategia"
- Base metal session* Prof. Dr.-Ing. Ulrich Seiffert, Volkswagen AG.: "Trends  
of Automotive Industry in Recycling Technology - Its  
Challenges and Opportunities for Base Metal Industry"  
Dr. Paul E. Nilles, CRM: "Alternative Technologies for  
Iron and Steelmaking"  
Prof. Nikolas J. Themelis, Columbia University: "The  
Golden Age of Non-Ferrous Metals Extraction"
6. *Illallistanssiaiset, Marina Congress Center* *klo 19.30-*

#### Lauantai 20.3.1993

1. *Vuosikokous, Marina Congress Center* *klo 11.00-11.30*
2. *Jaostojen kokoukset, Marina Congress Center* *klo 11.45-12.00*
3. *Lounas, Wanha Satama* *klo 13.00-17.00*
4. *Bergsspex, Servin Mökki* *klo 18.00-*



# PALVELUHAKEMISTO

## GEOALAN PALVELUJA

Palvelemme ja suoritamme geoalan tutkimusta kentällä ja ajanmukaisissa laboratorioissamme.

### Geologian tutkimuskeskus

Betonimiehenkuja 4  
02150 ESPOO

Puh. 90-46931  
Fax. 90-462205

## KALLIOPORAT



Makasilininkatu 2 70620 KUOPIO  
Puh. (971) 2625 252

## KONSULTTITOIMISTOJA

SKOL ry:n jäsen  
INSINÖÖRITOIMISTO

### SAANIO & RIEKKOLA OY

Laulukula 4, 00420 HELSINKI Puh. 90-5666500 fax 90-5663354

- Kalliotilojen yleissuunnittelu
- Rakennesuunnittelu
- Kalliorakennussuunnittelu ja rakennusgeologia
- Kalliotutkimusten ohjelmointi ja tulokäsittely
- Kalliomekaniikka ja atk-palvelut

## MITTALAITTEITA



### FINNPROSPECTING Ky

Palotie 25 02760 Espoo puh 90-8057388 fax 990-8057550

- TÄRINÄMITTAREITA räjäytysten valvontaa
- KALTEVUUSMITTAREITA kairausreikien mittaukseen

## MURSKAUSLAITOKSIA

### MURSKAIMET - SEULAT - SYÖTTIMET KULJETTIMET - MURSKAUSLAITOKSET



Lokomonkatu 3  
PL 306, 33101 TAMPERE  
Puh. 931- 501 111  
Telefaxit:  
myynti 931-501 207  
kulutus- ja varaosat 931-501 400

## PUMPPUJA



WARMAN INT. SCANDINAVIA OY  
Mariankatu 16 B, 15110 LAHTI  
Puh. 918-7527073 Fax 918-7527103

- Kuluttavien ja syövyttävien nesteiden pumput
- Kaivosteollisuudelle
  - Metallurgiselle teollisuudelle
  - Kemianteollisuudelle

## SUODATINKANKAITA



### TAMFELT

Tamfelt Oy Ab, Suodatinkankaat  
PL 427, 33101 Tampere  
Puh. (931) 639 111, Telefax (931) 639 608

## TERÄKSEN VALMISTUSTA JA JATKOJALOSTUSTA



### RAUTARUUKKI

Helsingin konttori  
PL 860 (Fredrikinkatu 51-53)  
00101 HELSINKI  
Puh. (90) 680 81  
Telefax (90) 680 8288

Oulun keskuskonttori  
PL 217 (Kilakiventtie 1)  
90101 OULU  
Puh. (981) 327 711  
Telefax (981) 327 506

## TERÄSTÄ



### UDDEHOLM

Työkaluteräkset  
Erikoisteräkset

Puh. (90) 553 166, Telefax (90) 565 2383

## TUTKIMUSPALVELUT



### OUTOKUMPU MINING SERVICES

GEOANALYYTTINEN LABORATORIO

Mineraali- ja alkuaineanalytiikka  
Materiaali- ja mineraalitutkimukset

PL 74 83501 OUTOKUMPU puh. 973-5561 fax 973-556610

## TUTKIMUSPALVELUT

### MALMIEN HIONNUS JA RIKASTUS

Laboratorio- ja koetehdastutkimukset  
Prosessimineralogia: mineraalien kuva-analyysi



MINERAALITEKNIKAN LABORATORIO

Tutkijankatu 1 83500 OUTOKUMPU  
Puh. 973-5571 telefax 973-557 557

## TUTKIMUSURAKOINTIA

### SUOMEN MALMI OY

Vuodesta 1935

- \* Malminetsintä
- \* Rakentaminen
- \* Kaivokset
- \* Ympäristö

PL 10 02921 ESPOO PUH 90-853 2422 FAX 90-853 3010

## VENTTIILEITÄ, LÄMMÖNSIIRTIMIÄ

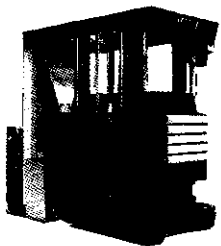
### HÖGFORS

VENTTIILIT LÄMMÖNSIIRTIMET  
SALO, p. 924-312991 HEINOLA, p. 918-155270  
Fax 924-331505 Fax 918-153209

# PAINESUODATUS

## SUODATUS

**Larox-menetelmä  
alentaa kustannuksia  
jopa 70 prosenttia.**



### **Larox-painesuodatus — muita tehokkaampi ja taloudellisempi**

Olivatpa kyseessä kemikaalit, rikasteet, mineraalit, pigmentit, lääkeaineet tai erilaiset jäte-  
lietteet, Larox-suodattimet

tuottavat kuivaa kakkua, *täysin automaattisesti*.  
Larox-menetelmä antaa jopa 94 %:n kuiva-  
ainepitoisuuden.

### **Larox — korkeata teknologiaa**

Laroxin PF-painesuodattimia käytetään eri puolilla maailmaa. Aika on testannut ja koetellut niitä maapallon rankimmissa olosuhteissa. Larox PF-suodattimet toimivat luotettavasti viidessä maanosassa. Ne on suunniteltu ja rakennettu kestäväksi. Prosessin jokainen vaihe: suodatus, kalvopuristus, kakun pesu, ilmakuivaus,

kakun poisto sekä kankaan pesu tapahtuu nopeasti ja automaattisesti.

### **Suodatuskoe todistaa Larox-painesuodatuksen edut**

Vallankumouksellinen Larox PF -suodatin alentaa huomattavasti energiakustannuksia, antaa poikkeuksellisen kirkkaan suodoksen ja tuottaa jatkuvasti puhtaamman tuotteen. Joka päivä, vuodesta vuoteen. Kun haluat varmistua Larox-suodatusmenetelmän eduista, ota yhteyttä! Soita ja kysy lisätietoja koesuodatustarjouksestamme, lähetämme samalla esitteemme.

# **LAROX®**

PL 29, 53101 Lappeenranta  
Puhelin (953) 5881, telefax (953) 588 277, telex 58 233

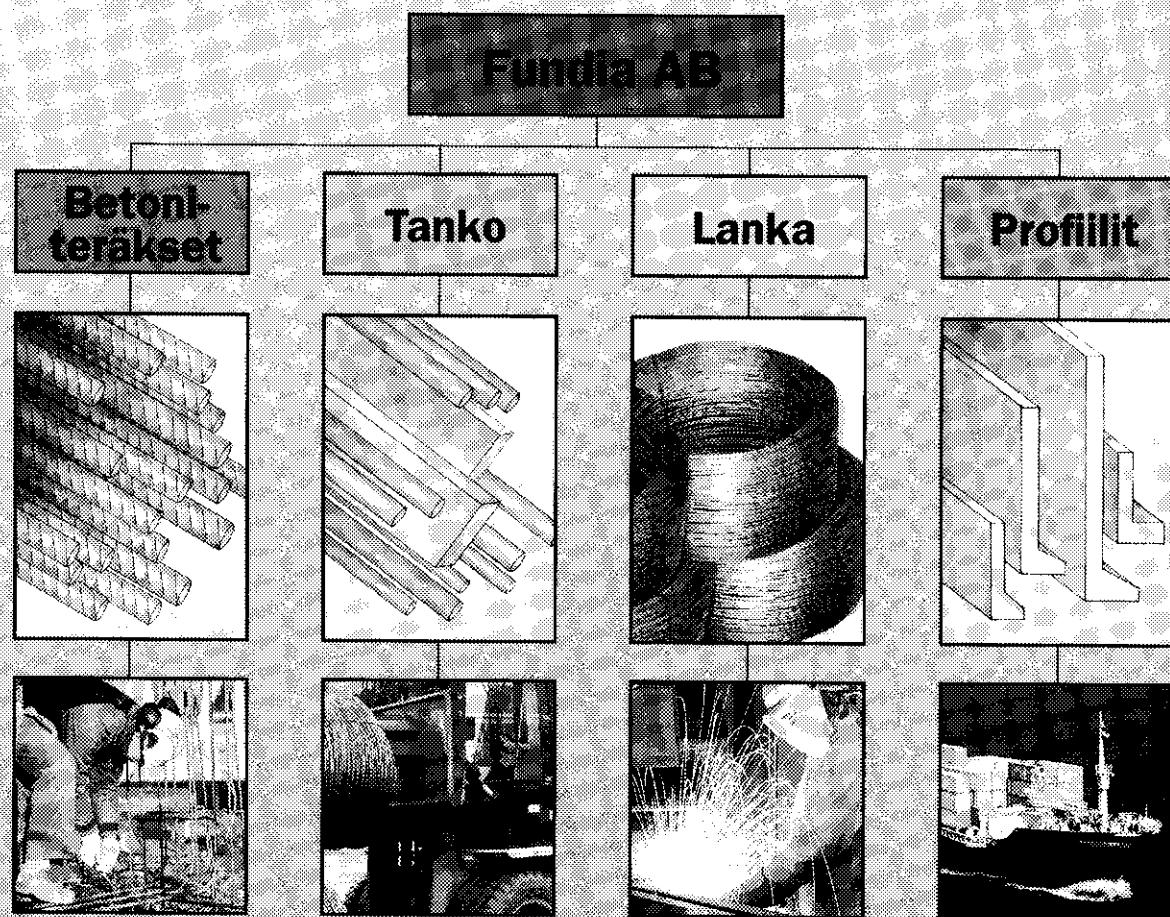
# Pohjoismaista terästä yhteisin voimin

Fundia AB on Norsk Jernverk AS:n, suomalaisen Dalsbruk Oy Ab:n ja ruotsalaisen Fundia AB:n yhdessä muodostaman uuden teräskonsernin nimi.

Konsernilla on tuotantoyksiköitä Ruotsissa, Norjassa ja Suomessa sekä myyntiyhtiöitä monissa Euroopan maissa.

Konsernin liikevaihto on 4.000 milj. markkaa ja henkilöstön määrä 4.600. Teräksen tuotanto nousee 1,4 milj. tonniin.

Fundia on jaettu neljään ryhmään: Fundia Betoniteräkset, Fundia Tanko, Fundia Lanka ja Fundia Profiilit.



# fundia

Fundia, Raatihuoneentori, 10600 Tammisaari. Puhelin 911-62400.

# Kulutuskumi kuljetinhihno kaivos- ja mineraaliteollisuudelle

Oy Trellex Ab valmistaa ja toimittaa suomalaiselle teollisuudelle laadukkaita kulutuskumituotteita ja kuljetinhihnoja sekä huolehtii niihin liittyvistä erilaisista asennus- ja huoltopalveluista.

Toimitusvalikoimamme kattaa mm. seuraavat tuoteryhmät:

- Myllyvuoraukset • Kumi- ja polyuretaaniseulaverkot
- Kulutuskumielementit • Kaikki taso- ja lokerokuljetinhihnat
- Kuljetintarvikkeet • Kulutuskumiletkut

## Oy Trellex Ab palvelee kaikkialla Suomessa

Myynti-, asennus- ja varastopalvelumme toimii maanlaajuisesti nopeasti ja tehokkaasti. Kaikissa kulutuskumiin ja kuljetinhihnoihin liittyvissä asioissa voit ottaa yhteyden lähimpään Trellex-palvelupisteeseen.

○ Masala  
△ Salmitie 4  
☐ 02430 Masala  
Puh. (90) 297 6122  
Fax (90) 297 7518

○ Oulu  
Toivoniementie 9  
90500 Oulu  
Puh. (981) 377 847  
Fax (981) 373 849

○ Kotka  
△ Rautatienkatu 2  
☐ 48100 Kotka  
Puh. (952) 184 880  
Fax (952) 184 881

○ Pieksämäki  
△ Helmintie 6  
☐ 76150 Pieksämäki  
Puh. (958) 232 50  
Fax (958) 232 51

○ Lappeenranta  
Paatsamakatu 4  
53810 Lappeenranta  
Puh. (953) 251 311  
Fax (953) 251 301

☐ Tampere  
○ Kolmihaarantie 3-5  
△ 33330 Tampere  
☐ Puh. (931) 281 8111  
Fax (931) 430 122

- ☐ Tehdas  
○ Myyntikonttori  
△ Trellex Service  
☐ Tuotevarasto



# Trellex

 MEMBER OF THE SVEDALA GROUP