

VUORITEOLLISUUS BERGSHANTERINGEN



N:o 2 1995
53. vuosikerta
ISSN 0042-9317

Julkaisija:

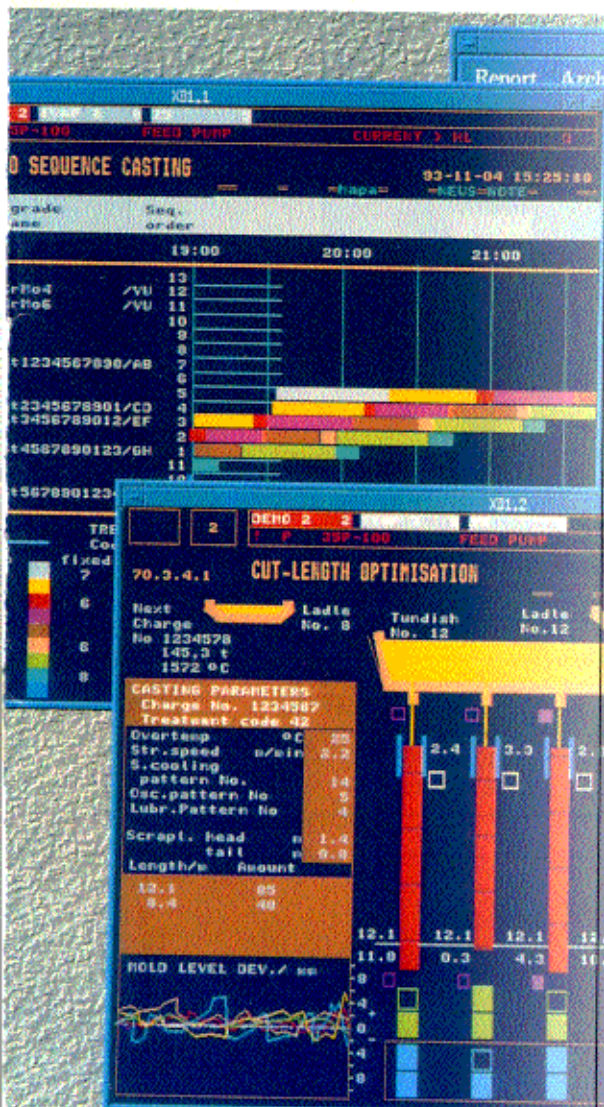
Vuorimiesyhdistys – Bergsmannaföreningen

r.y.



RAAHE STEELIN UUSI MASUUNI 1

X-ikkunointi tekee integroiduista sovelluksista entistä monipuolisemman tietolähteen.



Tuotannolta vaaditaan nyt joustavuutta. Jotta siihen päästäisiin, on tietoa pystyttävä siirtämään aivan uudella teholla prosessinohjauksella ja informaatiojärjestelmien välillä.

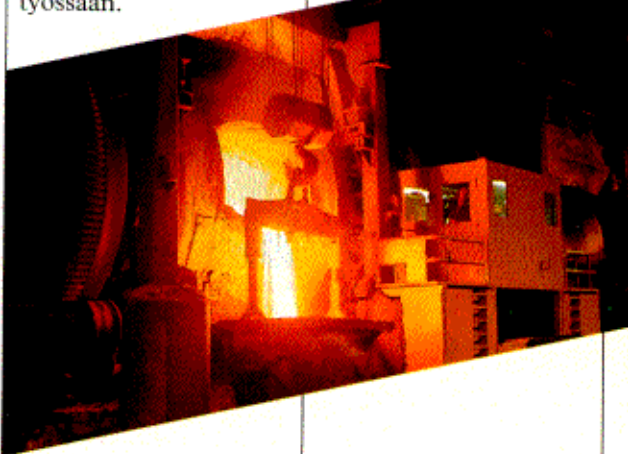
Valmet Automationin X-ikkunointi auttaa tekemään juuri sen.

X-ikkunoinnin avoimen käyttäjäliitynnän kautta voidaan eri järjestelmissä toimivien sovellusten tieto koota yhteen käyttäjäympäristöön.

X-ikkunointi mahdollistaa käyttökäyttäjälle pääsyn tähän tietoon suoraan omalta työasemalta. He eivät siis tarvitse enää näyttöä jokaista järjestelmää varten erikseen. Näin käyttäjä on aina ajan tasalla tuotannon kulun ja siinä tarvittavien muutosten suhteen.

Koska prosessinäytöt avautuvat muidenkin tietojärjestelmien kautta, myös käytönjohto,

tuotannosuunnittelu, tutkimus ja tehtaanojohto voivat soveltaa tarvitsemaansa tietoa prosessin eri vaiheista suoraan omassa työssään.



Luotettavuus ja yhteensopivuus olivat pääkriteerit, kun Valmet Automationin X-valvomoratkaisua suunniteltiin. X-ikkunointi toimii Damatic XD -teknologian kanssa ja siinä käytetään samoja ergonomisia käyttöperiaatteita. Sovellusten yhteensopivuus mahdollistaa aikaisempien Damatic XD -ratkaisujen käyttämisen X-valvomoympäristössä.

Valmet Automationin Damatic XD:n hajaautetun ikkunointijärjestelmän avulla tehtaasi maksimoi automaatioinvestointiensä hyödyt.

 **VALMET** Automation

Valmet Automation Oy, PL 237, Lentokentänkatu 11, 33101 Tampere
Puhelin (931) 266 8111, Telefax (931) 266 8523

outokumpu harjavalta metals



Outokumpu Harjavalta Metals Oy:n tehtaiden laajennuksen vihkiäisissä 25. elokuuta oli mukana kuitisen-sataa arvovaltaista kutsuvierasta, mukana myös raaka-aineen toimittajia. Australialaisen Western Mining Corporation Ltd johtaja Andrew G Michelmoren (vasemmalla) lahjoittamaa Mt. Keithin kaivoksen malmista valmistettua aurinkokelloa ihailevat toimitusjohtaja Raimo Rantanen ja nikkeliyksikön johtaja Matti Mattelmäki. Kuva A. Ketola

OUTOKUMPU HARJAVALTA METALS OY

HARJAVALLAN TEHTAAT

29200 HARJAVALTA
Puhelin (939) 5358 111
Telekopio (939) 5358 239
Telex 121461 outo fi

KUPARIELEKTROLYYSI

PL 60, 28101 PORI
(939) 626 6111
(939) 626 5312
121461 outo fi

ESPOON TOIMISTO

PL 89, 02201 ESPOO
(90) 4211
(90) 421 2520
121461 outo fi



Nykyaikaisin laittein työstävälle konepajalle on tuotannon häiriöttömyys ensiarvoisen tärkeää. Teräksen tasalaatuisuus on tällöin avainasemassa. Sen on säilyttävä valmistuserästä toiseen. Imatran terästehtaan nykyaikainen metallurgia sekä uusittu valssaamo tekevät laadukkaita tuotteita, jotka tarjoavat nämä edut asiakkaillemme.

Käyttäjät edellyttävät teräkseltä myös hyvää lastuttavuutta. Imatra Steelin kehittämä M-teräs on vastaus näihin haasteisiin. M-teräksen alkuperä on englannin sanaan "machinability". M-terästen lastuttavuus on ylivoimaista normaali-teräsiin verrattuna. Lastuttaessa M-terästä normaalinopeudella työkalujen kesto kasvaa jopa kolminkertaiseksi.

Vaihtoehtoisesti lastuamisnopeutta voidaan lisätä 20...30% ilman, että työkalujen käyttöikä lyhenee.

M-terästä yritetään kopioida - se on osoitus tuotteemme onnistumisesta. Imatra Steelin Original M-Steel -leima varmistaa, että kysymyksessä on aito M-teräs.

IMATRA STEEL

IMATRAN TERÄSTEHDAS
Terästehtaantie 1
55100 IMATRA
puh.: 954-680 21
fax: 954-6802 211

MARKKINA-ALUE KOTIMAA
Teollisuuskujat 1
14201 TURENKI
puh.: 917-6883 441
fax: 917-6993 520

TEKNINEN ASIAKASPALVELU
Terästehtaantie 1
55100 IMATRA
puh.: 954-6802 226
fax: 954-6802 511



Taiteilijan Hengellä

Luovuus ei tunne rajoja.

Olipa kysymys suunnittelijasta tai toteuttajasta, käytettävän materiaalin on toimittava luovan mielen ehdoilla.

Luovuus on myös värikkyyttä.

On oltava vaihtoehtoja, muodon ja pinnan suhteen ei tule olla rajoituksia.

Vaikka luovuus ei aina pohdi kustannuksia, on hyvä tietää, että teräs on edullista hankkia ja taloudellista käyttää.

Siksi on paras valita teräs.

P A R A S O T T A A T E R Ä S



RAUTARUUKKI
OHUTLEVYRYHMÄ

13300 Hämeenlinna, puh. (917) 6201

COMMINUTION CIRCUITS.



WORLDWIDE. NORDBERG.

Equipment plus expertise

Legendary Symons 7 Ft. crushers, Omnicone 1560's, patented high performance HP500 and HP700's, patented WF® crushers and mammoth MP1000's - these are the big, serious cone crushers for the mining industry. And no one offers you a complete line like Nordberg.

Whether it's our rugged primary gyratories, mills, cones, banana type screens or hoists, supplying quality equipment for the crushing section of a mine has always been Nordberg's hallmark.

No one has a longer history of commitment to developing the equipment you need for the entire comminution circuit of your mining operation.

Technological advancement in our Global Mining Product Center and Mineral Research and Test Center never stands still, spawning improved comminution methods like our acclaimed, patented WaterFlush® systems technology.

Combined with Nordberg's expertise in flow sheet development for conventional, WaterFlush®, milling, pebble crushing or heap leach circuits, you're assured the proper selection of the best equipment available for the application.

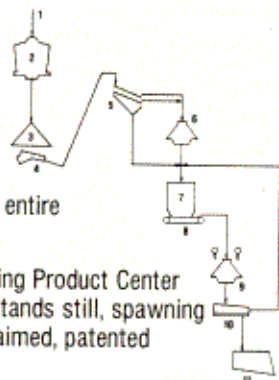
For more information, fax the Nordberg company nearest you:

Australia + 61-2-638 2540	China H.K. + 852-2603 0635 Beij. + 86-10-851 5295	Italy + 39-2-9350 1999	Portugal + 351-1-439 0689
Austria + 43-7612 89577	France + 33-8539 6298	Japan + 81-44-245 9017	Singapore + 65-468 2151
Brazil + 55-31-621 1912	Finland + 358-31-250 1207	Malaysia + 60-3-632 0399	South Africa + 27-11-642 0120
Canada + 1-519-821 4376	Germany + 49-6078 8581	Norway + 47-3347 0422	Spain + 34-1-870 3526
Chile + 56-2-231 7296	Great Britain + 44-1530 830220	Philippines + 63-2-816 0481	Sweden + 46-8-626 8660
			USA + 1-414-747 1766

Nordberg Group • P.O. Box 203 • 00171 Helsinki • Finland
Phone: +358-0-182 851 • Fax: +358-0-182 8282

Complete crushing solutions.
Global resources.
Locally supplied.

Nordberg



KIVESTÄ VILLAKSI

ENERGIAN SÄÄSTÖÄ SUOMALAISESTA KIVESTÄ YMPÄRISTÖN EHDOLLA

HYVÄ LÄMMÖNERISTYS ON OSA YMPÄRISTÖNSUOJELUA

Ympäristön sekä kansantalouden kannalta on lämmöneristäminen aina kannattavaa. Lämmöneristeisiin kuuluva energia saadaan takaisin moninkertaisesti talon käyttöiän aikana.

Vuorivillan valmistukseen käytetään suomalaista puhdasta kiveä. Yhden omakotitalon eristämiseen kuluu vain noin kuution verran kiveä.

Tämän kehityksen takana on suomalaisen asiantuntijan kehitystyö.



Vuorivillaa on maassamme valmistettu jo yli 40 vuoden ajan. Ympäristön kannalta pyrimme jatkuvasti kehittämään valmistusmenetelmiä sekä viemään energiansäästön tavoitteita eteenpäin.



PUNARAITA
VUORIVILLA

PALOTURVALLINEN VUORIVILLA

PAROC
Partek Insulation -yhtiö

Paroc Oy Ab
PL 61, Sörmäisten rantatie 23
00501 HELSINKI
Puh. (90) 394 41
Fax (90) 394 4222



Arkki- ja rotaatiolehdet nopeasti ja laadukkaasti

UUSIMAA OY

Teollisuustie 19, 06150 PORVOO
Puh. 915-66161, fax 915-6616301

VUORITEOLLISUUS BERGSHANTERINGEN



N:o 2 1995
53. vuosikerta
ISSN 0042-9317

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 kallioteknikan laitos
02150 Espoo

Toimittaja – Editor:

DI Asko Vesanto 90-4512 788
Teknillinen korkeakoulu Fax 90-451 2795
Materiaali- ja kallioteknikan laitos
02150 Espoo

Toimitussihteeri 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. 90-565 1221
Ulvilantie 11 b D 108
00350 Helsinki

TkT Jorma Rekola 90-2280 1300
Coopers & Lybrand Consulting Oy Ab
Mannerheimintie 16 A
00100 Helsinki

TkL Seija Sundholm 90-698 4088
Aukustinkuja 4 A Fax 90-698 2006
00840 Helsinki

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

DI Timo Niitti 90-4211
Outokumpu Mintec Oy
PL 84
02201 Espoo

Ilmoitushinnat vuodelle 1996

II ja III kansi = 5.120,- 1/2-sivu = 2.920,-
takakansi = 5.900,- 1/4-sivu = 1.740,-
1/1 sivu = 4.330,- Lisäväri/kpl = 1.600,-

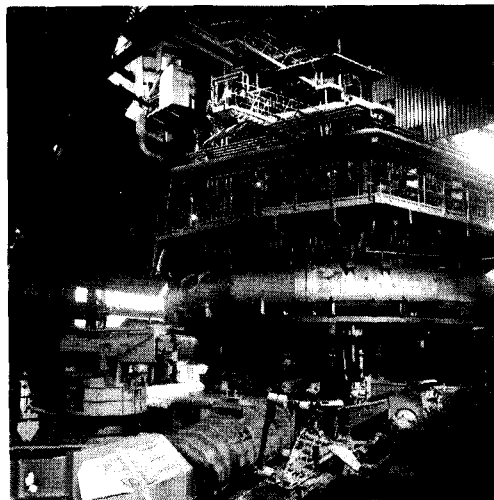
{ Ammattihakemisto-ilmoitus 1/1 vsk = 660,-
Koko: leveys = 85 mm ♦ korkeus = 25 mm

Vuosikerta = 100,- ♦ ulkomaille = 140,-
Irtonumero = 65,- ♦ ulkomaille = 75,-

Kirjapaino: Uusimaa Oy, Porvoo, 1995

SISÄLTÖ ■ INNEHÅLL

Jouko Härkki: Korkeakouluopetuksen kriisi – miten se voitetaan	53
Heikki Papunen: Onko Suomi tulevaisuudessa timantintuottaja?	54
Yrjö Pekkala: Paperin mineraaliraaka-aineet – käyttö, tuotanto ja kehitysnäkymät Suomessa	58
Erkki Pisilä: Rautaruukki Raahen Steelin masuuni 1:n uudistaminen Nuoren jäsenen stipendi	63
Hannu Kuopanportti: Sulfimalmien esikäsitely vaahdotusrikastuksessa	66
Eine Pöllänen: Hienojen raeluokkien rikastus paineenalennusvaahdotusmenetelmällä	69
Pauli Syrjänen, Harri Kuula, Juha Antikainen: Kaivosten kalliomekaaniseen mitoitukseen soveltuvia menetelmiä	71
Antti Penttinen, Seppo Kivivuori: Materiaalien lämpökäsittelyä auringonvalolla	82
Antti Leijala, Ilkka Penttinen, Antti Korhonen: Uusia mikroskopiakoneita kehitetään Teknillisessä korkeakoulussa	84
Antti Kalliokoski: Ympäristönäkökohtien merkitys louhintalaitteita valmistaville yrityksille	89
Mining Technology and Economics (♦) Linkage kurssikokonaisuus käynnistyi Teknillisessä korkeakoulussa	92
In Memoriam	94
Suoritettuja tutkintoja – Avlagda examina	96
Vuorinaiset ry.	99
Uusia jäseniä – Nya medlemmar	100
Uutta jäsenistä – Nytt om medlemmarna	100
Pahtavaaran kultakaivoksen rakentaminen aloitettiin	101
VMY ja POHTO järjestävät kurssin	101
ISRM:n 8. kansainvälinen kalliomekaniikkakongressi Japanissa 24.–30.9.1995	102



Kansikuva: Raahen Steelin masuuni 1.
Cover: Raahen Steel Blast Furnace 1.

**VUORIMIESYHDISTYKSEN
HALLITUS
24.3.1995**

TkT Aulis Saarinen 981-327 711
puheenjohtaja Fax 981-327 462
Rautaruukki Oy
PL 217
90101 OULU

DI Antti Mikkonen 971-400 111
varapuheenjohtaja Fax 971-400 777
Kemira Chemicals Oy
PL 20
71801 SIILINJÄRVI

DI Pekka Erkkilä 9698-4521
Outokumpu Polarit Oy
95400 TORNIO

DI Matti Heiniö 931-241 4111
Tamrock Oy
Pispanlanvaltatie 91
33270 TAMPERE

Prof. Kari Heiskanen 90-451 2789
Teknillinen korkeakoulu
Materiaali- ja
kalliotekniikan laitos
Vuorimiehentie 2 A
02150 ESPOO

TkT Matti Ketola 973-556 345
Outokumpu Finnmines Oy
Tehtaankatu 2
83500 OUTOKUMPU

FM Esko Lundén 921-742 6550
Nordkalk Oy Ab
21600 PARAINEN

Prof. Markku Mäkelä 90-4693 2223
Geologian tutkimuskeskus
Betonimiehenkuja 4
02150 ESPOO

DI Kari Nordberg 982-230 2273
Rautaruukki Oy
Raahen terästehdas
PL 93
92101 RAAHE

DI Tuula Purra 90-6180 2420
Teollisuuden Voima Oy
Annankatu 42 C
00100 HELSINKI

DI Erkki Ström 90-4211
Outokumpu Copper Oy
PL 144
02201 ESPOO

Yhdistyksen sihteerit

I DI Erkki Tyni 981-327 171
Rautaruukki Oy Fax 981-327 515
PL 217
90101 OULU

II DI Olavi Paatsola 971-400 111
Kemira Chemicals Oy Fax 90-400 777
PL 20
71801 SIILINJÄRVI

Yhdistyksen rahastonhoitaja

LuK Marjatta Parkkinen 90-421 2442
Outokumpu Oy Fax 90-421 3899
PL 280
02101 ESPOO

Geologijaosto

FM Tuomo Korkalo 973-5561
puheenjohtaja
Outokumpu Finnmines Oy,
Malmnestsintä
Tehtaankatu 2
83500 OUTOKUMPU

FK Anne Voutilainen 90-759 881
sihteeri
Säteilyturvakeskus
PL 14
00881 HELSINKI

Kaivosjaosto

DI Lauri Siirama 971-400 204
puheenjohtaja
Kemira Chemicals Oy
PL 20
71801 SIILINJÄRVI

DI Jarmo Frii 973-556 209
sihteeri
Outokumpu Metals & Resources Oy
PL 15
83501 OUTOKUMPU

Metallurgijaosto

TkT Kari Tähtinen 90-709 5211
puheenjohtaja
Imatra Steel Oy
PL 790, 00100 HELSINKI

DI Jari-Jukka Asikainen 954-680 2216
sihteeri
Imatra Steel Oy
55100 IMATRA

Rikastus- ja prosessijaosto

DI Seppo Lähteenmäki 984-769 6111
puheenjohtaja
Outokumpu Finnmines Oy
Pyhäsalmen kaivos
PL 51
86801 PYHÄSALMI

DI Pertti Rantala 90-421 4291
sihteeri
Outokumpu Mintec Oy
PL 84
02201 ESPOO

Tutkimusvaltuuskunta

FM Esko Lundén 921-742 6550
puheenjohtaja
Nordkalk Oy Ab
21600 PARAINEN

Geologinen toimikunta
Prof. Heikki Niini 90-451 2720
puheenjohtaja
Teknillinen korkeakoulu
Materiaali- ja kalliotekniikan laitos
Vuorimiehentie 2 A
02150 ESPOO

Kaivosteknillinen toimikunta

DI Pekka Lappalainen 973-556 236
puheenjohtaja
Outokumpu Metals & Resources Oy
83500 OUTOKUMPU

Rikastusteknillinen toimikunta

Prof. Kari Heiskanen 90-451 2789
puheenjohtaja
Teknillinen korkeakoulu
Materiaali- ja kalliotekniikan laitos
Vuorimiehentie 2 A
02150 ESPOO

**Tutkimusvaltuuskunnan
ja sen toimikuntien sihteeri**

FT Jyrki Parkkinen 90-469 31
Geologian tutkimuskeskus Fax 90-462 205
Betonimiehenkuja 4
02150 ESPOO

Korkeakouluopetuksen kriisi – miten se voitetaan

Opetusministeriön määrärahat korkeakouluille vähenivät vuosina 1992–1995 yhteensä noin 16 %. Palattiin vuosien 1989–1990 rahoitus-tasolle. Kuluvana vuonna tämä lasku kuitenkin jo pysähtyi. Vuoden 1996 budjetin mukaan nykyisestä tilasta näyttää tulevan pysyvä. Tällä säästötoimenpiteellä opetusministeriö on viestittänyt korkeakouluille: Rakenteellisia muutoksia on tehtävä ja toiminta on pysyvästi sopeutettava uudelle määrärahasolulle.

Eri korkeakoulut ovat reagoineet tähän säästöpakotteeseen eri tavoin. Joissakin on turvaututtu väliaikaisiin lomautuksiin, joissakin toimintaa on sopeutettu pysyvästi muuttuneeseen tilanteeseen. Väli-aikaisilla ratkaisuilla ongelmia on vain siirretty eteenpäin. Lama ei ole korkeakouluilta ohi, vaan se on osin siirretty tuleviin päiviin.

Osa korkeakouluille tulevasta rahasta osoitetaan suoraan tulok-sellisuusrahana ns. huippuyksiköille, joihin ei kuulu vuoriteollisuuden alan koulutusyksiköitä. Teknillisissä korkeakouluissa ja yliopistojen teknisissä tiedekunnissa panostetaan erittäin voimakkaasti sähkö- ja tietotekniikkaan sekä korkeakoulukohtaisesti mahdollisesti muihin-kin alueisiin. Alamme koulutusyksiköitä ei kuulu näihinkään erityistuettaisiin. Tästä johtuen onkin mm. prosessi- ja koneosastojen säästövelvoite ollut erittäin raskas. Resursseja alamme koulutukselta on vähennetty ja tullaan edelleen vähentämään.

Assistentin virat ovat joko 3- tai 5-vuotisia, siis määräaikaaisia. Lähes kaikki muut korkeakouluvirat ovat pysyviä. Säästöt kohdistu-vat helposti näihin määräaikaishirakoihin ja sitä kautta opetukseen. Korkeakoulujen sisällä erilaisia hallinnollisia tehtäviä on siirretty alemmaksi organisaatioissa, eli osaltaan opetushenkilökunnalle. Kor-keakoulujen rahat jaetaan osaksi ns. suoritusperiaatteella, jolloin myös tutkimusaktiivisuuden vaatimus on entistä enemmän kuor-mittamassa opettajakuntaa. Tutkimukseen tarvittava rahoitus on tänä päivänä haettava enenevässä määrin kansainväliseltä kentältä (EU:n puiteohjelmat ja Euroopan hiili- ja teräsyhteisö). Tämänkin huomattavasti aiempaa käytäntöä työelämän tehtävien tekevät professorit yhdessä assistenttien kanssa. Kaikki edellä mainittu kaventaa opetuk-seen käytettäviä voimavaroja.

Lisäksi on todettava, että opetuspalveluiden asiakkailta, opiskeli-joilla, esiintyy asenteellisia ongelmia. Opiskelumotivaation perään ovat kyselleet myös opiskelijoiden omat järjestöjohtajat. Ongelmia on siis sekä opetuksen antajien että saajien puolella. Muutoksen haku onkin aktiivista kateederin molemmilla puolilla.

Kriisi on koulutuksessa tosiasia! Toisaalta on todettava, että ongelmia ei ole kaikilla eikä kaikkialla. Opetusta on kohdeltu eri korkeakouluissa eri tavoin. Opetuksen kehittäminen on mm. Oulun yliopistossa yksi tärkeimmistä panostusalueista. On rakennettu koko yliopiston kattava opetuksen palautejärjestelmä, joka tekee opetuk-sesta julkisesti arvioitavan asian. Edelleen opetuksesta on tehty virallisesti tutkimuksen kanssa yhdenvertainen urakehityksen vai-kuttava ansioitumisen osa-alue. Tällaisilla toimenpiteillä voidaan kohottaa opettajakunnan motivaatiota työhönsä. Kuitenkaan nämä positiiviset herätteet eivät poista sitä tosiasiaa, että opetuksen voima-varat ovat ratkaisevasti pienentyneet tapahtuneiden muutosten seurauksena.

Koulutusta on toki muillakin tasoilla kuin perustutkintotasolla. Jatkokoulutuksesta on todettava Suomen Akatemian ns. "Graduate Schoolien" helpottaneen ja keskittäneen annettava jatkokoulutusta monilla aloilla; parhaat opettajavoimat kouluttavat ammattialoitain useiden korkeakoulujen jatko-opiskelijoita samanaikaisesti. Tehokkuus on voimakkaasti lisääntynyt! Toivottavaa on, että alamme saisi myös omia jatkokoulutuslaitteita mitä pikimmin. Yliopistojen täydennys-koulutuskeskukset sekä eräät muut täydennyskoulutusorganisaatiot (mm. AEL ja POHTO) toimivat suurelta osin omakustannus-periaatteella, joten niissä sopeutuminen reaaliaikaan on totuttua rutiinia, eivätkä esitetyt ongelmat kohdistu niihin edellä mainitulla taval-la.

Onko tilanne toivoton? Mitä on tehtävissä? Korkeakoulujen tärkein tehtävä on edistää tutkimusta ja tieteellistä sivistystä sekä

antaa siihen perustuvaa ylintä opetusta edustamallaan aloilla. Tämän perustehtävän täyttäminen on meidän opettajien ja tutkijoiden tehtävä myös vaikeutuneissa olosuhteissa. Ei noin viidenneksen supistus koulutusmäärärahoissa sentään ole ylipääsemätön, mutta haitta se toki on, ja yksilötasolla vaikutus voi olla katastrofaalinenkin. Ministeriön talouspakotteet ja vaikeutuneet olosuhteet on käännettävä kehitystä ajaviksi voimiksi. Mutta miten on saavutettavissa enemmän, niin laadussa kuin määrässäkin, entistä vähemmän voimavaro-in?

Toiminnan malleja on useita: Karsitaan päällekkäisyyksiä, hyö-dynnetään toisten korkeakoulujen opettajavoimia sekä opetus-materiaaleja, kehitetään itse opetusmenetelmiä, käytetään apuna etäopetusta jne. Vanha kiinalainen viisaus sanoo: "Kuulen niin unohdan, näen niin muistan, teen niin ymmärrän". Ymmärrys on kaiken oppimisen ydin. Tietoa on niin paljon, ettei se mahdu mihin-kään verkkoon, saati sitten ihmismuistiin. Opetuksen on kehitettävä yksisuuntaisesta tiedonjakamisesta kaksisuuntaiseen, ymmärrystä korostavaan, suuntaan. Oppilas tulee ottaa mukaan opetustehtävään seminaarien, harjoitustenohjauksen yms. kautta. Avainsanaksi tulee opettamisen sijasta ottaa oppiminen. Opettajan roolin tulee kehittyä oppimisen ohjaajaksi ja motivoijaksi. Raha ei tällöin muodostu vält-tämättä kriittiseksi tekijäksi. Opettajien ja oppilaiden henkinen muutos voi sen sijaan osoittautua aikaavieväksi prosessiksi.

Erään opetuksen kehittämismallin tarjoaa Oulun yliopiston proses-sitekniikan osastolla vuodesta 1991 toteutettu prosessimetallurgien koulutus. Opetus annetaan ns. "sandwich"-periaatteella, joka yhdis-tää lähiympäristön alan teollisuuslaitosten laboratorioden laite-tarjonnan sekä insinöörin osaamisen yliopiston mahdollisuuk-sien kanssa. Yleinen prosessitekniikan koulutus tapahtuu prosessi-osastolla annettavan opetuksen kautta. Prosessimetallurgian erikoisopetusta varten yliopistolla on vain professori koordinoimassa toimintaa ja antamassa keskeistä syventävää opetusta. Lopusta, pää-osin soveltavammasta opetuksesta, huolehtivat teollisuuden tutkijat. Koulutuksen sisältämät harjoitustyöt sekä diplomi- ja jatkokutkimus-työt tehdään teollisuuden tutkimuslaboratorioissa (Rautaruukilla Raahessa ja Outokummulla Torniossa). Harjoitustöiden assistentit ovat teollisuuden tutkimusinsinöörejä. Myös kesäharjoittelu on nivelletty palvelemaan opiskelijoiden kokonaisvaltaista kehitymis-tä. Tämä harjoittelujakso muodostaa ns. "kolmannen lukukauden". Näin koulutetulla diplomi-insinöörillä on tietoa myös työmaailman dynamiikasta. Korkeakouluopetus niveltyy saumattomasti tyydyttä-mään yhteiskunnan tarpeita. Tällainen koulutuksen jaksottuminen antaa työelämään valmiuksia, jollaisia ei voida saavuttaa pelkästään yliopistolla. Valmis diplomi-insinööri on tämän "putken" läpikäytyään todella valmis vastaamaan teollisuuden työhaasteisiin. Opiskelijoi-den opiskelumotivaatio on ollut koko kokeilun ajan erinomainen. Harjoituksesta tai luennoilta poissaoloja ei juuri tunneta. Vaikeuksiakin on luonnollisesti esiintynyt: Mm. opettajien fyysinen etäisyys opiskeli-joihin luentojen välillä ja opetuksen koordinointi niin luentojen kuin harjoitustenkin osalta.

Viisivuotinen kokeilu tällaisesta teollisuuden ja korkeakoulun opetussellisesta ja tutkimuksellisesta yhteistyöstä täyttyy kesällä 1996. Lahjoituksella rahoitettu jakso päättyy. Professuurin vakinaistamisen myötä siirrytään uuteen kauteen. Toteutettu kokeilu on ollut rohkaiseva ja nostanut teollisuuden kanssa tehtävän koulu-tusyhteistyön varteenotettavaksi yliopisto-opetuksen kehittämis-vaihtoehdoksi.

Mahdollisuuksia koulutuksen kehittämiseen on siis lähes rajatto-masti. Kaikki tietovirrat niin teollisuudessa, korkeakouluissa kuin täydennyskoulutusorganisaatioissakin on saatava täysimääräiseen käyttöön. Yhteistyötä eri osapuolten välillä tulee kehittää. On saavu-tettava avoin me-henki kaikkialle!

Jouko Härkki, professori
Prosessimetallurgia
Oulun yliopisto

Onko Suomi tulevaisuudessa timantintuottaja?

Professori Heikki Papunen, ODB, Turun yliopisto, Geologian laitos, Turku

ALKULAUSE

30. pñä elokuuta 1994 Malmikaivos Oy antoi julkisuuteen tiedon Suomesta löydetystä kimberliittipiipuista ja niiden sisältämistä timanteista. Löydön merkitystä on kuluneen vuoden aikana monipuolisesti käsitelty julkisissa tiedotusvälineissä ja myös asiantuntijoiden esitelmissä /1/. Kun timanttien etsinnän ja tuotantomahdollisuuksien arviointi on kuitenkin maamme kaivosteollisuuden piirissä uusi ja mielenkiintoinen aihepiiri, pyrin seuraavassa valottamaan eräitä et-sintään ja tuotantoon vaikuttavia piirteitä.

TUOTANNOSTA

Timanteja oli tuotettu vuoteen 1990 mennessä erään arvion mukaan kaikkiaan n. 2,25 miljardia karaattia, siis noin 450 tonnia (karaatti = 0,2 g). Koko maapallon vuotuinen timantintuotanto on nyt n. 105 miljoonaa karaattia, vastaten siis 21 tonnia. Vähäisestä määrästä huolimatta tuotannon arvo on viidennellä sijalla maapallon kaikesta kaivostuotannosta polttoaineita lukuunottamatta. Raakatimanttikaupan arvo oli v. 1993 n. 31 miljardia markkaa, ja siis lähellä sinkin tuotannon arvoa ja suurempi kuin esim. nikkelin, platinan tai hopean tuotantoarvo. Viisi maata, Australia, Zaire, Botswana, Venäjä ja Etelä-Afrikka tuottavat 94 % koko maapallon timanteista. Määrältään suurin yksittäinen tuotantoalue on Australiassa, jossa Argylen esiintymä tuottaa yli 40 miljoonaa karaattia vuodessa, mutta sieltä saavat timantit ovat laadultaan pääosin teollisuustimanteja, vain n. 4 % on jalokivilaatua. Tuotannon arvonn perusteella tärkein tuotantoalue on Itä-Siperian Sakhan tasavallassa olevat Jakutian timanttikentät, jotka löytyivät 1950-luvulla. Alueelta oli jo aiemmin tunnettu jokihiekkoihin rikastuneita alluviaalisia timanteja, mutta ensimmäinen timanteja sisältävä kimberliittipiippu löydettiin 1954 tehokkaan geologisen tutkimuksen perusteella ja tuotanto alkoi 1957. Jakutian tuotannon huippu oli 1980-luvun puolivälissä n. 25 Mct/v, mutta v. 1991 enää n. 12 Mct, josta noin kolmannes oli jalokivilaatua, ja tuotanto on edelleen vähenemässä niin että sen arvioidaan olevan vuosituhannen vaihteessa enää n. 5 Mct.

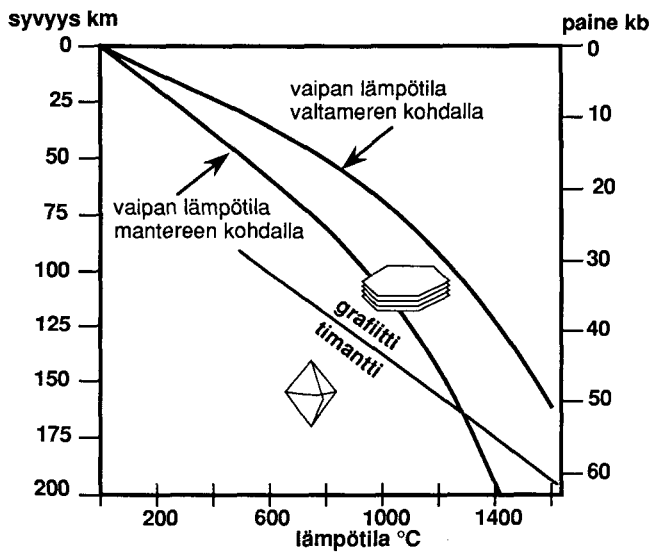
Maapallon timanttien koko tuotannosta n. 15 % on kallisarvoista jalokivilaatua, 39 % on "lähes jalokivilaatua" ja 46 % teollisuustimanteja. Vastaavasti raakatimanttien hinnat vaihtelevat teollisuustimanttien n. USD 0,50 / ct jopa useisiin kymmeneen tuhansiin USD / ct. Korkeimpia hintoja maksetaan suurista, korkealaatuisista ja erikoisen värisistä yksittäiskiteistä. Jalokivilaatuna pidetään timanttia, josta maksetaan vähintään USD 80 / ct.

Timanttien keskeinen ostaja ja välittäjä on CSO (Central Selling Organization), De Beers-yhtiön kontrolloima ja eri yhtiöiden muodostama huomattomien timanttien markkinointiorganisaatio, "syndikaatti", joka on käytännössä pitänyt hallussaan timanttien kauppaa tämän vuosisadan alusta alkaen. Nykyisin CSO:n kautta liikkuu n. 80 % raakatimanteista, mutta ajoittain villien myyjien aiheuttamat vuodot esimerkiksi Venäjältä ja Angolasta ovat muuttaneet markkinatilannetta. 1990-luvun alun lamatilanne vaikutti myös timanttien tuotantoon ja markkinoiden tasapainottamiseen takia mm. CSO vähensi ostojaan 15–20 %.

TIMANTTITUOTANNON GEOLOGISTA TAUSTAA

Timantti on puhtaan hiilen korkean paineen ja lämpötilan muoto. Timantin muodostumisolosuhteet saavutetaan maapallossa vasta 150–200 km:n syvyydessä. Vaikka mikrotimanteja (<0.4 mm) on todettu erilaisissa geologisissa muodostumissa, esim. vulkaanisissa kivissä ja korkean metamorfoosiasteen liuskeissa mm. äskettäin Pohjois-Norjassa, ovat varsinaiset makrotimantit (>0.8 mm) peräisin yksinomaan syvältä tulleista purkauspiipuista, jotka ovat koostumukseltaan joko kimberliittejä tai lamproiitteja. Näiden primääristen esiintymien ohella timanteja tuotetaan myös alluviaalisista kerrostumista, joihin ne kulutusta kestävinä ovat rikastuneet ja raskaina mineraaleina (d 3.52 g/cm³) kasautuneet sedimettiprosessien yhteydessä. Kaikki alluviaaliset timantit ovat alunperin lähtöisin kimberliiteistä, vaikka maapallolla onkin merkittäviä alluviaalisia timanttikenttiä, joissa timanttien alkuperäinen lähtöpaikka on tuntematon. Nykyisin alluviaalisia timanteja tuotetaan suurissa määrin merenpohjasta tai rantahiekoista Namibiassa ja Etelä-Afrikassa.

Maapallon lämpögradientti on mantereiden kohdalla loivempi kuin valtamerien kohdalla (ks. kuva 1). Erityisesti vanhojen arkeisten kratonialueiden lämpögradientti voi olla niin loiva, että timanttien pysyvyysalue saavutetaan kohtuullisella syvyydellä. Tämä on syynä siihen, että timanteja tuottavat kimberliittipiiput esiintyvät yksinomaan arkeisilla kratonialueilla, jossa litosfääri kylmän "kölön" ansiosta on erityisen vahva, ja jossa timantin pysyvyysalue tulee lähemmäs maan pintaa (ks. kuva 2). Kimberliitit ovat runsaasti alkaleja ja haihtuvia aineita sisältäviä ultramafisia vulkaanisia kiviä, jotka ovat purkautuneet maan pinnalle n. 150–200 km:n syvyydestä, siis yli kaksi kertaa syvemmillä kuin tavalliset orogeeniset tai valtameren selänteet basaltit. Kimberliittejä esiintyy sekä vanhoilla kuluneilla vuorijonoalueilla (mobiileilla vyöhykkeillä) että kratonialueilla, mutta vain arkeisten kratonien kimberliitit ovat osoittautuneet timanttipotentialisiksi. Timanteja on ajoitettu sulkeumamineraalien perusteella, ja ne ovat osoittautuneet ikivanhoiksi, 900–3300 milj. v, ja ovat siis arkeisia tai varhaisproterotsooisia. Kimberliitit taas ovat pääosin suhteellisen nuoria, esim. Angolan piiput 115–135 milj. v, Botswanan 80–100 milj. v, Etelä-Afrikan 60–135 milj. v, Venäjän Arkangelin piiput ovat 340–380 milj. v ja Suomen piiput vähän yli 500 milj. v. Kimberliitit siis toimivat ikäänkuin hisseinä kuljettaen ainesta syvyydestä maan pinnalle. Timanttien lisäksi kimberliitit sisältävät muitakin syvältä peräisin olevia vaipan mineraaleja ja kiven kappaleita. Näistä kimberliiteille luonteenomaisia ovat korkean paineen ja lämpötilan mineraalit kuten, pyrooppigranaatti, Mg-ilmeniitti, Cr-diopsidi, kromiitti jne. joita kimberliittipiipussa on aina paljon runsaammin kuin timanteja. Näitä eksoottisia mineraaleja käytetäänkin kimberliittipiippujen etsinnässä indikaattoreina, ja niiden koostumuksen perusteella arvioidaan kimberliittipiipun timanttipotentialisuutta, koska mineraalit toimivat paine-lämpötilaindikaattoreina ja antavat käsityksen siitä, onko piippu peräisin timanttien PT-pysyvyysalueelta. Ongelmana tietysti on se, että kappaleita ja mineraaleja voi kimberliittiin tarttua eri syvyyksiltä. Myös vaipasta peräisin olevat murtokappaleet, xenoliitit ovat tieteelle arvokkaita, koska niiden perusteella saadaan todellista



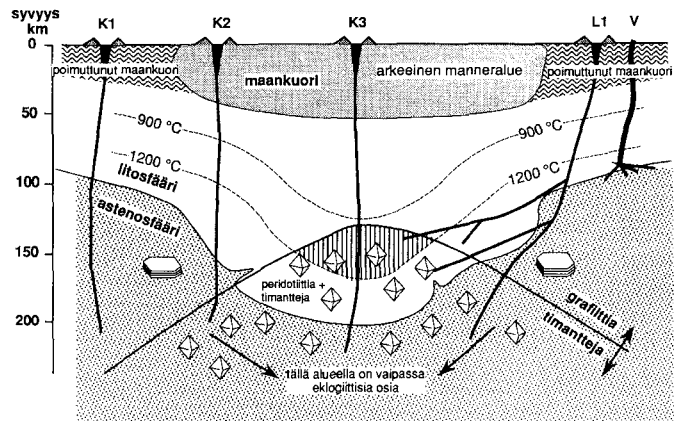
Kuva 1. Alaspäin mentäessä kallioperän lämpötila ja paine kasvavat tasaisesti. Mantereen alueella vaipan lämpötila on alhaisempi kuin vastaavalla syvyydellä valtameren alueella. Kuvaan on merkitty myös timantin ja grafiitin muuttumislämpötilaa ja -painetta kuvaava viiva. Kuvan mukaan timantin syntyolosuhteet saavutetaan maapallossa vasta n. 160 km:n syvyydellä ja 1325 °C:n lämpötilassa. Jos vaipan lämpötila kohoaa hitaammin kuin kuvassa oleva käyrä osoittaa, on timantti kuitenkin pysyvä lähempänä maanpintaa. Valtameren alueella geotermi ei kohtaa timantin pysyvyydsaluetta.

Fig. 1. Temperature and pressure increase with depth in the crust and mantle. The thermal gradient is shallower in continental lithosphere than in and beneath oceanic crust. A line on the diagram marks the boundary between diamond and graphite stability fields, showing that the diamond stability field can be intersected at a depth of 160 km and a temperature of 1350 °C in an area characterized by an average continental thermal gradient. If the geothermal gradient is even shallower, diamonds can be stable closer to the earth's surface. Oceanic areas with steep geothermal gradient are not suitable for diamond formation or preservation.

tietoa vaipan koostumuksesta ja mineralogiasta. Indikaattorimineraalien ja xenoliittien määrät ja laadut vaihtelevat piipusta ja piippukentästä toiseen.

Timantit ovat olleet kimberliittissä mukana syvältä maan vaipasta asti. Timantti on pysymätön maan pinnan olosuhteissa ja erityisesti hapettavat tekijät pyrkivät muuttamaan timantin hiilidioksidiksi tai muiksi hiilen yhdisteiksi sen tullessa ylös. Osittaisesta tuhoutumisesta on merkinä timantin kulumien pyöristymisen, alkuperäisten kidemuotojen häipyminen ja timanttirakeen muuttuminen muodoltaan epämääräiseksi tai hyvin monien eri pintamuotojen rajoittamaksi möhkäleeksi. Timanttipiipussa voi olla samanaikaisesti sekä oma-omutoisia että pyöristyneitä kiteitä; edelliset ovat vasta purkauksen loppuvaiheessa vapautuneet timantteja sisältävästä vaipan kappaleesta, jälkimmäiset taas ovat tulleet itsenäisinä kiteinä kotvan matkaa. Timanttien pintamuodot vaihtelevat, mutta ovat luonteenomaisia löytöalueelle. Mikrotimantit ovat yleensä kidemuotoisia.

Kimberliittipiipun purkaus on niin eksoottinen tapahtuma, ettei ihmiskunnalla ole siitä kokemusperäistä tietoa. On voitu päätellä, että purkaus saa alkunsa haihtuvien aineiden kerääntymisestä ja sen aiheuttamasta vaipan sulamisesta. Paine kasvaa niin suureksi, että sula lähtee liikkeelle parinsadan kilometrin syvyydestä ja kohoaa suurella nopeudella, jopa 25–30 km / h, nopeus vielä kiihtyy maanpinnan läheisyydessä kun paine laskee ja kaasut vapautuvat. Maan pinnalle tullessaan kimberliitti purkautuu räjähdysmäisesti jättäen merkiksi kraatterimaisen räjähdyskuopan. Räjähdysten syynä on kaasunpurkaus, joka on joko kimberliitin omaa, syvältä peräisin olevaa kaasuväristoa tai kimberliittisula on räjähtänyt tullessaan yhteyteen maanpinnan vesivarastojen kanssa. Viimeksi mainitusta mekanismista on todisteena ns. maar-vulkanismi, johon voi tutustua esim. Reinin laakson alueella. Tämä räjähdystapa myös selittää sen, miksi samalla kimberliittialueella on eri fasiesta edustavia kimberliittipiippuja.

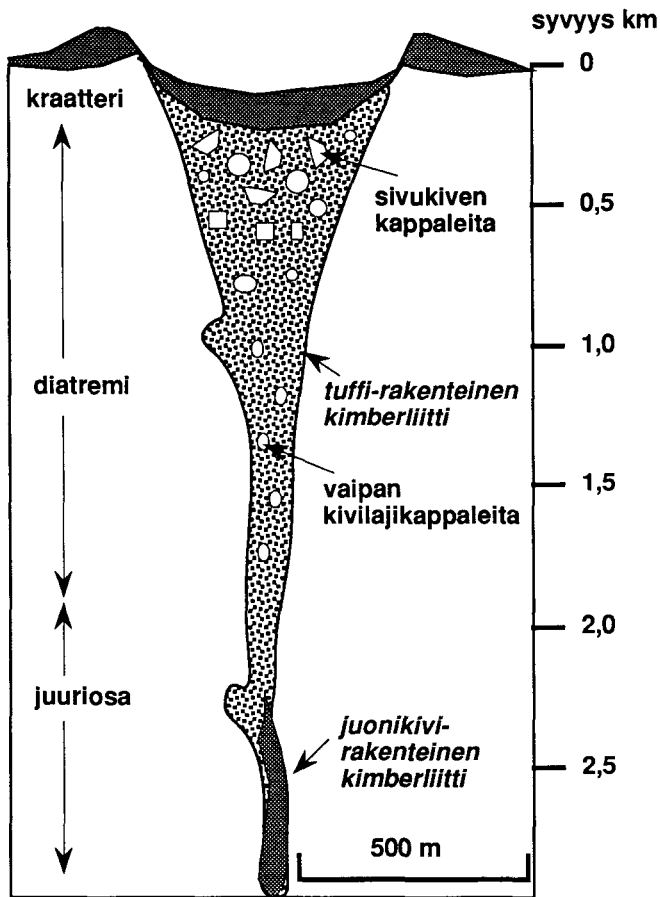


Kuva 2. Kaavamainen kuva kimberliittien ja lamproiittien esiintymisestä. Kuoren vahvistuessa laattojen törmäyksessä joutuu syvyyksiin basaltista ainesta, mikä syväällä kiteytyy granaatti-pyrokseenikiveksi, eklogiitiksi. Kimberliittimagma on peräisin 150–200 km:n syvyydeltä. Jos litosfääri on mannertörmäyksen ansiosta paksuuntunut, on vaippa tällä alueella keskimääräistä alemmassa lämpötilassa (900 ja 1200 °C:n isotermit käyristyvät alaspäin), ja timantin pysyvyydsalue voi ulottua magman syntysyvyydelle (K3) ja kimberliitti voi sisältää timantteja. Korkeamman lämpötilan alueelta lähtenyt kimberliitti (K2) sisältää niukasti timantteja, kun taas mantereen normaalin lämpökehityksen alueelta peräisin oleva kimberliitti (K1) ei sisällä timantteja. Lamproiittinen purkaus (L1) on saanut aineksia sekä eklogiittisesta että peridotittisesta vaipasta. Timantin seuralaismineraaleista tehdyt lämpötilamittaukset osoittavat timanttien lähteneen yleensä n. 900–1200 °C:n lämpötilaväliltä, ns. ”timantti-ikkunasta” (viivoitettu alue). Tavalliset vulkaaniset magmapurkaukset (V) ovat lähtöisin litosfäärin ja astenoosfäärin rajalta.

Fig. 2. Schematic cross section of the distribution of kimberlites and lamproites in the earth's lithosphere and sublithospheric mantle. During collision of lithospheric plates basaltic oceanic crust will be recycled into the mantle and crystallized at high temperature and pressure as garnet-pyroxene rock, eclogite. The source of the kimberlite magma is at depths of 150–200 km. If the lithosphere is thickened by plate collision, the temperature of the mantle can be lower than average (900 °C and 1200 °C isotherms are curved downwards in the diagram), and the stability field of diamond extends in this cold "keel" to relatively high levels where upwards moving kimberlite melt can intrude through it and incorporate diamonds from the wall rocks (K3). A kimberlite passing through crust with a somewhat steeper temperature gradient (K2) will only occasionally contain diamonds, whereas the kimberlite (K1) in the area of normal continental geothermal gradient (at mobile belts) cannot contain diamonds. Lamproites (L1) contain material from both eclogitic mantle and occasionally diamonds. High-temperature minerals from diamondiferous kimberlites indicate that diamonds commonly originate from the 900–1200 °C region ("diamond window"), hatched in diagram. The source of common volcanic melts (V) is at the lithosphere-asthenosphere boundary.

Kimberliittikivilajia luonnehtii useimmiten breksiarakenne, jossa on mukana erilaisia sivukiven ja vaipan kappaleita. Mukaan siepattuja sivukiven kappaleita on runsaimmin piipun yläosassa ns. kraatteri- ja diatreemifasiuksen muodostumisissa; syvemmällä kimberliitti muuttuu vulkaanisen porfyryisen rakenteen myötä juonifasiukseksi, joita vain eksoottinen mineraalikoostumus ja geokemia erottavat tavallisista mafisista juonikivistä (Kuva 3). Kimberliittien lisäksi lamproiittipiiput ovat osoittautuneet timanttien suhteen potentiaalisiksi. Lamproiitit ovat alkalisia ultramafisia kiviä, ne eroavat kimberliiteistä kemiallisen koostumuksensa perusteella, ja mineralogialla luonnehtii mm. runsas flogopiitti, oliiviini, leusiitti, meliitti jne. Maailman suurin timanttiyrittäjä, Länsi-Australian Argyle on lamproiittisena.

Kimberliittialueella on aina useita piippuja. Ne muodostavat ryhmittymiä, klustereita, joissa piippujen lukumäärä voi vaihdella yhdestä useisiin kymmeneen. Kimberliittialueella on yleensä useita ryhmittymiä. Esimerkiksi Venäjällä Arkangelin kimberliittialueella on seitsemän ryhmittymää, joissa on yhteensä n. 90 piippua, jos mukaan



Kuva 3. Kimberliittipiipun rakenteessa voidaan todeta maanpinnalla oleva räjähdyskraatteri, sen alapuolella piippu on muodoltaan kartiomainen diatreemi, jossa kivi on särkynyttä breksiaa ja sisältää runsaasti sivukiven kappaleita. Syvemmällä kimberliitti on tuffirakentista ja siinä on syvältä maapallon vaipasta tulleita kappaleita, eklogiitteja ja peridotiteja. Muutaman kilometrin syvyydessä juuriossaan piippu muistuttaa rakenteeltaan nopeasti jäähtynyttä magmakiveä eikä paljon eroa muista vulkaanisista tai juonikivilajeista.

Fig. 3. Structurally the kimberlite pipe can be divided into a crater facies at the surface, a brecciated or tuff-like diatreme facies in the cone-shaped pipe with numerous wall-rock and mantle fragments, and a porphyritic dyke facies which is texturally similar to common volcanic rocks.

lasketaan Vianan niemimaan Nenoksan 34 piippua sisältävä ryhmittymä. Saman ryhmittymän puitteissa voi olla hiukan eri tyyppisiä ja kokoisia piippuja, mutta yleensä eri ryhmittymien välillä erot ovat suuremmat kuin ryhmittymän sisällä. Klusterissa voi olla yksi tai useampia taloudellisesti hyödynnettäviä timanttipiippuja.

Kimberliittipiiput ovat pystyleikkauksessa joko porkkanan tai sampanjalasin muotoisia laajeten pintaa kohti (Kuva 3). Arkeisen kovan kiteisen kallioperän alueella piiput ovat halkaisijaltaan keskimäärin pienempiä kuin syvälle rapautuneilla trooppisilla alueilla tai sellaisissa paikoissa, joissa arkeista kuorta peittävät sedimenttikerrostumat. Esimerkiksi Arkangelin alueen kimberliitit ovat tulleet kallioperustan päällä olleen noin kilometrin paksuisen sedimenttisarjan läpi ja ovat merkittävästi kookkaampia (3.6–8 ha) kuin esimerkiksi Suomessa (0.9–1.8 ha) tai Pohjois-Kanadassa (1.6–3.6 ha) tavatut timanttipitoiset kimberliitit. Vertailun vuoksi todettakoon, että maailman kymmenen tuottoisimman piipun pinta-alat vaihtelevat n. 100 hehtaarista (Orapa, Etelä-Afrikka) n. 7 hehtaariin (Mir, Venäjä).

Maankuoren rakennepiirteiden merkityksestä kimberliittipiippujen sijoittumisen suhteen on erilaisia käsityksiä. Lineaaristen rakenteiden, kuten siirrosten tai kuoren lohkorajojen on oletettu kontrolloivan piippujen esiintymistä. Tähän viittaa esimerkiksi Arkangelin timantteja sisältävän Zolotitskoe-klusterin piippujen esiintymisen likimain

pohjois-etelä -suuntaisena jonona [2]. Toisaalta kuitenkin kimberliittimagma purkautuminen hyvin syvältä suurella nopeudella maan pinnalle on vaipassa tapahtuneiden ilmiöiden seurausta eikä se välttämättä liity mihinkään kuoren rakenteeseen tai särkymisilmiöön. Esimerkiksi Zolotitskoe-klusterin jonossa esiintyvät kimberliittipiiput ovat niin erilaisia, ettei niitä voi pitää saman magmapurkauksen eri "haaroina" maanpinnalla vaan ne ovat tulleet lähtöalueelta omina purkauksinaan.

KIMBERLIITTIIEN TIMANTTIPOTENTIALISUUDESTA

Maapallolta tunnetaan n. 5000–6000 kimberliittipiippua, joista noin 500 kimberliitin tiedetään sisältävän joko mikro- tai makrotimantteja ja vain 20 piippua on suuressa mitassa louhittu timanttien tuottamiseksi, lisäksi vastaava määrä pieniä piippuja on ollut vähäisessä tuotannossa. Tästä saadaan suhdeluku, jonka mukaan vain yksi piippu 100–200 kimberliitistä olisi taloudellisesti kannattava timanttiesiintymä ja timanttipitoisistakin kimberliiteistä vain yksi kahdestakymmenestä olisi louhittavissa.

Timanttien etsinnässä on kaksi vaihetta, ensin pitää löytää kimberliitti ja sen jälkeen todeta sen timanttipitoisuus taloudellisesti kannattavaksi. Kimberliittien etsinnässä hyödynnetään indikaattorimineraalien esiintymistä maaperän raskasmineraalifraktiossa. Yksikin varma indikaattorihavainto näytteessä on merkityksellinen ja vaatii tarkistuksen, koska osa piipuista sisältää niukasti indikaattorimineraaleja. Raskasmineraalinäytteiden käsittely on monivaiheinen prosessi ja vaatii erikoishenkilökuntaa indikaattorimineraalien tunnistamisessa. Analyysilaitteiden käyttö tähän tarkoitukseen on liian kallista, hidasta ja epävarmaa. Ongelmana ovat nuorien sedimenttikivien alle peittyneet piiput, joista ei pintamaissa ole lainkaan indikaattoreita. Geofysikaalisia mittauksia voidaan käyttää piippujen paikantamisessa. Kuitenkin piippujen geofysikaaliset ominaisuudet vaihtelevat vallitsevan kimberliittifaasin mukaan ja geofysiikan kritiikiton seuraaminen voi johtaa vain juonifasiesta sisältävien kimberliittien löytymiseen ja malmipotentialisimmat diatreemifasiektet ja kraatterifasiektet jäävät löytymättä. Kokemus, taito ja paikallisen geologian tuntemus ovat ensiarvoisia hyvään malminetsintätulokseen pyrittäessä.

Timanttipiipun arvo perustuu timanttien määrään ja laatuun. Määrä voidaan tutkia erottamalla kohtuullisen kokoisesta näytteestä pilotmittakaavaisessa rikastuslaitoksessa näytteestä raskas fraktio ja siitä timantit. Määrä on siis painoyksikköä tonnia kohti – samanlainen mitta kuin esim. kupari- tai kultamalmissa, mutta timanttien määrä ilmoitetaan yleensä karaatteina / 100 tonnia kiveä. Timanttikaivosten kimberliittien pitoisuudet vaihtelevat ja yleensä pitoisuus pienenee alaspäin mentäessä, piipussa voi olla pinnalla myös rapautumisesta johtuva sekundäärinen rikastumiskerros. Eräiden Etelä-Afrikassa pitkään louhittujen kimberliittien pitoisuudet ovat pintaosissa olleet 130–165 ct/100 t, mutta alentuneet syvälle mentäessä tasolle 18–75 ct / 100 t. Siperiassa on piippuja, joissa on ollut jopa 1100 ct / 100 t (Internationálnaja, pinta-ala 1.7 ha) ja 600 ct / 100 t (23:nen Kongressin Piippu, pinta-ala vain 0.16 ha). Huippuarvoissakin pitoisuudet ovat siis köyhän kultamalmin luokkaa; mielenkiintoisena pidettävät pitoisuudet (30–60 ct / 100 t) ovat määränä vain kahdeskymmenes tai jopa sadasosa kultamalmin pitoisuudesta. Hippuongelman parissa tuskaillut kultamalmin arvioija ymmärtää parhaiten pienten pitoisuuksien aiheuttamat suunnattomat vaikeudet luotettavan määrän arvioinnissa.

Karaatin keskimääräinen hinta vaihtelee timanttien laadusta riippuen suurissa rajoissa, eikä laatua voi määrittää jollei tunneta timanttien kokojakautumaa, puhtausastetta, väriarvoja ja korutimanttien määräsuhdetta. Laadun ja ct-hinnan arvioiminen on mahdollista vasta suuresta timanttimäärästä, mikä nostaa tutkimuskustannuksia. Oikoteitäkin on yritetty kehittää. Esimerkiksi indikaattoreiden koostumuksen ja laadun perusteella on piippuja jaettu potentiaalisiin ja vähemmän potentiaalisiin, jolloin mm. granaatin koostumusta (ns. G10 pyrooppi) ja nikkelipitoisuutta on käytetty hyväksi. Myös mikrotimantteja on käytetty indikaattorimineraaleina: luottamalla pienehkö (esim. 20–50 kg) kimberliittinäyte saadaan jäännökseen mikrotimantit. Niiden määrä on voinut olla jopa 17 mikroa kymmenessä kilossa, niinkuin eräessä äskettäin löydettyssä Kanadan NWT piipuissa. Mikrojen ja makrojen esiintymisen välillä ei kuitenkaan ole

keskinäistä riippuvuussuhdetta. Indikaatiot ja timanttihavainnot on joka tapauksessa varmennettava suuresta näytemäärästä erotettavista timanteista. Kohtuullinen arvio laadusta saadaan n. 5000 karaattia, mikä tavallisesti vaatii 3000–10 000 tonnin näyte-erän käsittelyä. CSO kuitenkin edellyttää n. 20 000 ct:n arviointierää.

Timanttien etsintä on tavalliseenkin malminetsintään verrattuna erittäin riskialtista toimintaa ja ilman perusteellista kokemusta ja taitoa epäonnistumisen vaara on ilmeinen. Kun timanttien etsintään kuitenkin sijoitetaan vuosittain mittavia summia, on onnistumiselle oltava tietyt edellytykset ja tutkimusalueiden timanttipotentiali on voitava ennustaa. Suuret kansainväliset etsintäyhtiöt toimivat vankan tutkimusorganisaation ja omien laboratoriorien turvin. Pienten etsintäyhtiöiden (junioreiden) strategia tähtää joko kokonaan uusien kenttien löytämiseen esim. indikaattoritutkimuksen menetelmin tai jo löydettyjen indikaattorianomalioiden malmipotentialin ja samalla arvon kasvattamiseen. Kun timanttien määrät ja laadut ovat riittävät, on timanttien kaivostuotanto yleisesti ollut tuottoisaa puuhaa. Etuna on toiminnan verraten pitkä aikajänne, yksinkertaiset louhinta- ja rikastusmenetelmät ja lopputuotteen nopea markkinointi suoraan kaivokselta. Erään julkisuudessa esitetyn arvion mukaan Länsi-Australian Argylen timanttiesiintymän etsintään kului summa, joka vastaa n. 200 milj. markkaa, esiintymän pitoisuuden ja laadun arviointi vei 600 milj. markkaa, kaivoksen rakentaminen n. 1.6 mrd. markkaa ja kaivoksen nykyinen vuosittainen tuotannon (40.9 milj. ct) arvo vastaa n. 1 mrd markkaa. Tämä siitään huolimatta, että timanteista vain 4–5 % on jalokivilaatua, mikä on erittäin alhainen maailman muihin timanttikaivoksiin verrattuna; Venäjän eräissä piipuissa on raportoitu olevan jopa 50 % jalokivilaatua.

SUOMEN ALUEEN TIMANTTIPOTENTIALISTA

Ennen Malmikaivos Oy:n viime vuonna julkistamia löytöjä oli Suomesta ja lähialueelta vain epämääräisiä tietoja timanttien esiintymisestä (ks. kuva 4) /3/. Olavi Erämetsän tämän lehden palstoilla julkaisema värikäs tarina Lapin timanteista yhdistää erinomaisella

tavalla vanhat käsitykset ja sen tiedon, mikä Lapin timanteista oli kertynyt /4/. Fennoskandian arkeelien kilven alueelta tuli 1990-luvun alussa tietoon Arkangelin merkittävät timanttilöydökset, joista olen toisessa yhteydessä lyhykäisesti kertonut /5/ ja joista on nyt julkistettu yksityiskohtainen kuvaus v. 1995 timantikongressin ekskursion opaskirjana /6/. Arkangelin alueen piiput sisältävät ilmeisesti sangen merkittävän timanttimäärän, mutta kaivosteknologian ongelmallisuus ja alkupääoman puute ovat toistaiseksi olleet esteenä tuotannon aloittamiselle. Lisäksi tunnetaan Venäjän Karjalasta lamproiittikenttiä ja piippuja, joista on todettu mikrotimanteja. Maininnan ansaitsee rajamme läheisyydestä Kostamuksesta löydetty lamproiittijuonet sekä Elisenvaaran "ladogaliitti"-piippu, joista molemmista kerrotaan löydetyn mikrotimanteja /3/.

Suomen arvioissa maankuori on sangen vahva, jopa 65 km, ja on esitetty arvioita, joiden mukaan litosfäärin olisi Fennoskandian kilpialueella yli 200 km paksuinen, mutta tästä on toistaiseksi vain viitteellisiä tietoja. Vahvan ja kylmän mannerkölin olemassaolo siis on mahdollinen ja todennäköinen. Ja luonnollisesti vahvimmat osoitukset timanttipotentialista ovat Malmikaivos Oy:n löytämät yli 20 piippua, joista kymmenen on kerrottu sisältäneen timanteja ja näistä neljää on tutkittu kohtuullisen kookkaista näytteistä. Jos verrataan maapallon keskimääräisiin lukuihin, on Suomesta löydettyjen timanttipiiposten piippujen määräsuhde 10:21 erittäin paljon korkeampi kuin maapallon 1:20, mikä osaltaan nostaa potentialisuutta. Vaikka Malmikaivos Oy yhteistyökumppaneineen onkin toiminut aiheen parissa Suomessa useita vuosia, on kuitenkin epätodennäköistä, että kaikki kimberliittipiiput tästä maasta olisi jo löydetty, niin vaikean pähkinän sivukivien vaihteleva geofysiikka, glasiaaligeologia ja peitteiset alueet muodostavat timanttien ja kimberliittien etsijälle. Meneillään olevat mittavat hankkeet varmasti tuovat esiin lisää kimberliittejä ja lamproiitteja, ja on sangen todennäköistä, että jo löydetystä piipuista jokin osoittautuu jatkotutkimuksessa louhinnan arvoiseksi.

KIRJALLISUUS – REFERENCES:

1. Laapas, H. 1994. Timanteja löydetty Suomesta. Vuoriteollisuus-Bergshanteringen, Helsinki. 52:72.
2. Gararin, V.K, Kudryavtseva G.P. & Janse A.J.A. 1993. Vertical and horizontal zoning of kimberlites. Proceedings of the 8th Quadrennial IAGOD Symposium, Ottawa, Canada, August 12-18, 1990, Y.T. Maurice (ed.); E. Schweitzerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart.
3. Proskuryakov, V.V. & Uvadye, L.I. 1992. Lamproiitti vostonoy zasri Baltiskogo Zita. Dokl. Akad. Nauk Ser. Geol. 8: 65–75
4. Erämetsä, O. 1975. Tarina Lapin timanteista. Vuoriteollisuus-Bergshanteringen, Helsinki, 33: 39–47 and 137–147.
5. Papunen, Heikki, 1995. Arkangelin alueen timanteista. Geologi 47: 64–65.
6. Sinitsyn A. and Grip, V. 1995. Guidebook for Arkhangelsk kimberlite province. 6th International Kimberlite Conference, Guidebook for Excursions 1A and 2A,

SUMMARY

IS FINLAND IN THE FUTURE A DIAMOND PRODUCER?

World diamond production statistics, the geology of kimberlites and lamproites and geological and mineralogical preconditions for successful diamond exploration have been briefly reviewed as a background for understanding the present-day diamond exploration boom in Finland. The Archaean terrain in eastern and northern Finland is a part of the same geological unit (Arcon) as the Archangel'sk region in Russia, where productive kimberlite pipes have recently been discovered. Malmikaivos Oy has reported the discovery of more than 20 kimberlite pipes in Finland of which four diamondiferous pipes have been tested with a sample of a considerable size. The proportion of discovered kimberlite pipes that contain diamonds in Finland is well above the average diamondiferous to barren ratio for the whole world, indicating high potential for exploitable pipes. Lamproites containing microdiamonds have also been discovered in the Russian part of the Fennoscandian Shield.



Kuva 4. Fennoskandiasta tunnettuja kimberliittejä, lamproiitteja ja niiden sukuisia kivilajeja. Talvirannikon kentällä Arkangelin alueella valmistellaan timanttien tuotantoa, Vienajoen varresta löytyi 1740 timanttikide ja myös Paatsjoen rannalta kerrotaan 1880-luvulla löydetyn timantteja. Venäjän Karjalassa Kostamuksesta, Levushkajärvellä ja Elisenvaarassa sekä Kuolassa Terskin alueella on lamproiitteja, joista eräissä on todettu mikrotimanteja. Kimberliittien sukuisiksi kivilajeiksi on merkitty muodostumia, jotka koostumuksensa ja esiintymistapansa perusteella muistuttavat kimberliittejä tai lamproiitteja.

Fig. 4. Known kimberlites, lamproites and related rocks in Fennoscandia and the Archangel'sk area. A large alluvial diamond was discovered in the 1740s at the banks of the river Dvina, and in the 1880s a diamond discovery was reported at the Paatsjoki river Lapland. Lamproites have been discovered in Kostamuksha, Levushka Lake and Elisenvaara in Russian Karelia and in the Kola Peninsula, and some of them contain microdiamonds. The "related rocks" are alnöites, ultrapotassic breccias etc. which have certain structures or compositional features in common with kimberlites and lamproites.

Paperin mineraaliraaka-aineet – käyttö, tuotanto ja kehitysnäkymät Suomessa

Valtioneurologi Yrjö Pekkala, Geologian tutkimuskeskus, Otaniemi

JOHDANTO

Suomi on maailman johtavia paperinvalmistajia ja samalla paperipigmenttien suurkuluttaja. Metsäteollisuuden Keskusliiton keräämien tilastojen ja kulutusarvioiden mukaan Suomessa ylitetään 2 milj. tonnin raja paperipigmenttien käytössä jo v. 1996 ja ennusteiden mukaan kasvu jatkuu 5–10 % vuosivauhdilla. Käytetyistä pigmenteistä noin 70 % on tuontitavaraa ja tuonnin arvo yli miljardi markkaa vuodessa, pelkästään 1 milj. tonnista paperikaoliinia maksetaan yli 800 milj. markkaa. Vastaavasti kotimaisen paperipigmenttituotannon arvo on yli 500 milj. mk vuodessa.

Suomessa on potentiaalisia mahdollisuuksia lisätä kotimaisen pigmenttituotannon osuutta merkittävästikin, mikäli alan tutkimukseen suunnataan resursseja sen taloudellista painoarvoa vastaavasti.

PIGMENTTIMINERAALIT

Paperin valmistukseen käytetyistä mineraalisista raaka-aineista tärkeimmät ovat kaoliini (kaoliiniitti), karbonaatit ja talkki. Näiden ohella käytetään pienemmässä määrin kalsinoitua kaoliinia, titaanioksidia, kipsiä, bentoniittia ja eräitä muita mineraaleja. Pigmenttien käytöllä on paperin valmistuksessa kaksi selkeää syytä: ne parantavat oleellisesti paperin laatua ja pienentävät materiaalikustannuksia, sillä eniten käytetyt pigmentit ovat halvempia kuin paperin valmistukseen käytettävä kuituaines.

Pigmenttimateriaaleille asetetaan monia laatuvaatimuksia; niitä ovat väri, taitekerroin, opasiteetti, valonhajonta, raekokojakauma, raemuoto, tiheys, kuluttavuus, liukenevuus ja hapettuvuus sekä pintakemialliset ja termiset ominaisuudet.

Oleellisia vaatimuksia ovat myös pigmenttituotteen puhtaus ja tasalaatuisuus sekä luotettava saatavuus ja kohtuullinen hinta /1/.

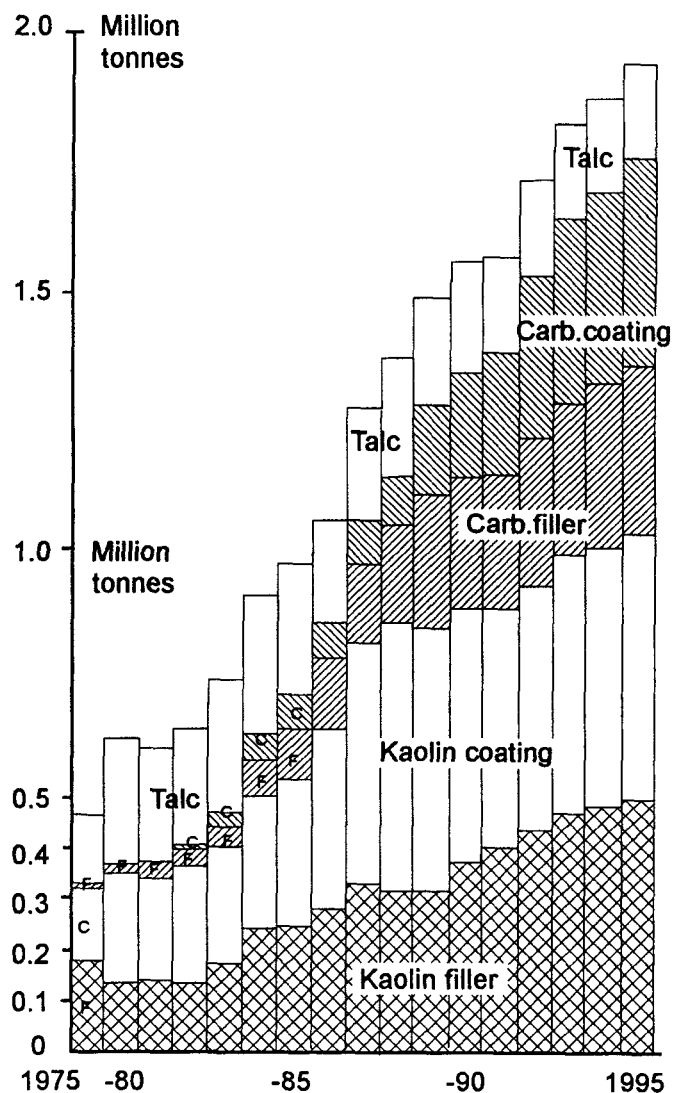
PAPERIPIGMENTTIEN KÄYTTÖ JA SAATAVUUS

Taulukossa 1 on esitetty paperinvalmistuksessa käytettävien pigmenttien kulutus Länsi-Euroopassa vuodesta 1973 vuoteen 1993 /2/.

Taulukko 1. Paperipigmenttien käyttö Länsi-Euroopassa, x 100 t.
Table 1. The consumption of paper pigments in western Europe in thousand tonnes.

	1973	1983	1993
Kaoliini	3 000	3 000	3 500
Karbonaatit	250	1 300	2 500
Talkki	300	500	600
Muut	50	100	100

Source: Minerals Industry International, March 1995



Kuva 1. Paperipigmenttien kulutuksen kasvu 1975–1995
Fig. 1. The growth of the consumption of paper pigments 1975–1995.

Käyttölukuista näkyy, että kaoliini on edelleenkin eniten käytetty paperipigmentti, mutta karbonaattien osuus on kasvanut hyvin voimakkaasti. Myös talkin käyttö on kolminkertaistunut, mutta jää paljon jälkeen kaoliinista ja karbonaateista. Muiden pigmenttien käyttö on määrältään vähäistä. Taulukossa 2 on esitetty Suomen paperiteollisuuden käyttämien pigmenttimäärien kehitys vuodesta 1975 lähtien. Luvut osoittavat, että kymmenen viime vuoden aikana pigmenttien

Taulukko 2. Paperiteollisuuden käyttämät pigmentit 1975–1995, tonneina.

Table 2. The consumption of paper pigments 1975–1995, in tonnes.

	Kaoliini		Kalsiumkarb.		Talkki Päälyste ja täyte	TiO ₂	Yhteensä
	Päälyste	Täyte	Päälyste	Täyte			
1975	133 000	178 000	-	7 000	135 000	3 000	456 000
1980	219 000	130 000	-	13 000	254 000	2 000	618 000
1981	215 000	132 000	-	23 000	231 000	3 000	604 000
1982	233 000	130 000	13 000	35 000	230 000	2 000	643 000
1983	234 000	168 000	31 000	38 000	269 000	3 000	743 000
1984	269 000	235 000	55 000	71 000	269 000	4 000	903 000
1985	288 000	248 000	69 000	97 000	254 000	3 000	959 000
1986	355 000	278 000	70 000	136 000	205 000	3 000	1 047 000
1987	484 000	325 000	84 000	155 000	224 000	3 000	1 275 000
1988	540 000	312 000	104 000	187 000	232 000	4 000	1 379 000
1989	532 000	307 000	173 000	268 000	213 000	4 000	1 497 000
1990	502 000	368 000	206 000	268 000	219 000	3 000	1 566 000
1991	477 000	396 000	242 000	266 000	190 000	3 000	1 574 000
1992	490 000	429 000	326 000	296 000	194 000	3 000	1 738 000
1993	519 000	464 000	370 000	301 000	188 000	3 000	1 845 000
1994	520 000	476 000	388 000	319 000	186 000	3 000	1 892 000
1995 ^{*)}	528 000	490 000	410 000	328 000	186 000	3 000	1 945 000
1996 ^{**)}	535 000	505 000	425 000	338 000	190 000	3 000	1 996 000
1998 ^{**)}	540 000	535 000	445 000	345 000	190 000	3 000	2 058 000

Source: Association of Finnish Forest Industries

^{*)} Estimate, ^{**)} Forecast

käyttö on kasvanut 100 000 tonnin vuosivauhtia. Taulukosta 3 ilmenee pigmenttien kokonaistuotanto Suomessa vuodesta 1980 alkaen ja luvuista nähdään, että vain talkin ja ilmeisesti myös titaanidioksidin tuotanto on ollut merkittävää koko tarkastelukaudella, muiden tuotanto on kasvanut vasta 1990-luvulla.

Seuraavassa tarkastellaan erikseen kunkin pigmenttiryhmän käyttöä, esiintymiä ja saatavuutta, ensisijaisesti Suomen paperiteollisuuden tarpeita ajatellen.

Taulukko 3. Pigmenttimateriaalien tuotanto Suomessa 1980–1995, x 1 000 tonnia.

Table 3. The production of pigment materials in Finland 1980–1995, in thousand tonnes.

	1980	1985	1990	1991	1992	1993	1994	1995
Karbonaatit								
- jauhattu kalsiitti (GCC)	30	67	223	270	253	273	310	340*
- saostettu kals.karb. (PCC)	<10	10	12	17	21	40	80	120*
Talkki	318	318	385	361	371	399	453	450*
Kipsi						20	>20	50*
TiO₂**	80	84	90	90	90	90	90	90

Sources: Ministry of Trade and Industry, Kemia-Kemi magazine, *estimate, **capacity

KAOLIINI

Kaoliini on teknis-kaupallinen nimitys valkealle saviainekselle, joka puhtaana koostuu lähes yksinomaan kaoliiniitti-mineraalista. Sen teoreettinen koostumus on 46,3 % SiO₂, 39,8 % Al₂O₃ ja 13,9 % H₂O ja sitä syntyy alumiinisilikaattien, ensisijaisesti maasälprien rapautumisen tuloksena. Kaoliiniitti kiteytyy kauniin kuusikulmaisina, levymäisinä kiteinä, jotka ovat kemiallisesti lähes reagoimattomia, melko pehmeitä ja puhtaina lähes valkoisia.

Luonnon kaoliiniesiintymissä kaoliiniittipitoisuus vaihtelee hyvin laajoissa rajoissa. Alkuperäisellä paikallaan rajautuneissa primaariesiintymissä pitoisuus voi olla vain 10–20 %, kun taas sekundaarisissa, muualle kuljetuneissa ja kerrostuneissa esiintymissä kaoliiniittia on usein 70–80 %. Molempia esiintymätyyppiä hyödynnetään, niiden taloudellisuus riippuu itse kaoliiniin puhtaudesta ja toisaalta raakakaoliinin rikastettavuudesta. Näistä ominaisuusvaihteluista johtuu, että usein melko köyhiä primaarisia esiintymiä voidaan taloudellisesti hyödyntää (Cornwall, Englanti), kun taas rikkaistakin sekundaariesiintymistä on usein vaikea saada korkealaatuaista lopputuotetta ilman monivaiheista rikastusta. Yleisesti voidaan sanoa, että erilaisille esiintymätyypeille on kehitettävä omat rikastusmenetelmänsä, sillä aniharvoin voidaan tietyille tyyppille kehitettyä prosessikaaviota soveltaa sellaisenaan jollekin muulle esiintymälle.

Huolimatta siitä, että kaoliiniesiintymät ovat yleisiä eri puolilla maailmaa, tuotanto on yleensä rajoittunut tyydyttämään vain paikallisia tarpeita. Paperikaoliinia maailmanmarkkinoille tuottavia alueita on vain muutamia ja Suomen kannalta näistä tärkeimmät ovat /1, 3/:

Esiintymäalue	Tuotanto
Georgia, USA (sekundaarinen)	9 000 000 t/v
Cornwall, Englanti (primaarinen)	2 500 000 t/v
Amazonin allas, Brasilia (sekundaarinen)	500 000 t/v
Weipa, Australia (sekundaarinen)	150 000 t/v

Brasiliassa ja Australiassa tuotantokapasiteettia ollaan kaksinkertaistamassa. Kaikilta em. alueilta tuodaan kaoliinia maamme paperiteollisuudelle. Merkittävin on perinteisesti ollut Cornwall, mutta viimeisten viiden vuoden aikana on tuonti Georgiasta kasvanut voimakkaasti. Brasilian osuus on toistaiseksi melko pieni ja Australiasta on tuotu lähinnä koe-eriä.

Euroopassa on huomattavan suurta kaoliinituotantoa Ukrainassa, Saksassa, Tsekissä, Espanjassa ja Ranskassa, joista myös on tuotu vähäisiä määriä Suomeen, ensisijaisesti keraamisen teollisuuden käyttöön.

Kaoliinivarannot ovat Georgiassa ja Amazonin alueella hyvin suuret (useita satoja milj. tonneja) sekä ilmeisesti myös Australiassa. Ukrainan esiintymät kuuluvat em. suuruusluokkaan, mutta niiden laadusta ei ole saatavissa yksityiskohtaisia selvityksiä. Manner-Euroopan esiintymät ovat kaikki rajallisia ja niiden pääasiallinen käyttöalue on ollut paperin täyteaineena ja keraamisessa teollisuudessa. Cornwallin kaoliinialue on laaja ja reservit suuret, mutta alhaisesta pitoisuudesta (10–15 % kaoliiniittia) johtuen louhintamäärät ovat valtavia, yli 30 milj. tonnia/vuosi, joten mm. ympäristöongelmat pahenevat vuosi vuodelta.

Kaoliini on tärkein paperiteollisuuden käyttämä päälyste- ja täyteaine. Suomessa ylitetään miljoonan tonnin raja v. 1995 ja kulutuksen ennustetaan vielä kasvavan. Suurimmat tuontimaat ovat Englanti, yli 700 000 tonnia ja Yhdysvallat, yli 300 000 tonnia, tuonti muualta on pientä. Alalla toimivista yhtiöistä English China Clay on ylivoimainen markkinajohtaja ja se tuo kaoliinia sekä Englannista että Yhdysvalloista. Toinen merkittävä paperikaoliinin tuojia on amerikkalainen Engelhard Corporation.

Kalsinoidun kaoliinin käyttö paperinvalmistuksessa on Suomessa melko vähäistä, noin 30 000 tonnia vuodessa. Yhdysvalloissa sen käyttö on merkittävästi suurempaa, johtuen osaksi siitä, että amerikkalaisen, sedimenttisen kaoliinin prosessoinnissa kalsinointi voi kohoittaa lopputuotteen vaaleutta useita prosenttiyksiköitä. Sen sijaan Suomessa perinteisesti eniten käytetylle englantilaiselle kaoliinille kalsinointi ei oikein sovellu, koska kalsinointi lisää sen kuluttavuutta, jopa yli sallittujen rajojen. Hinnaltaan kalsinoitu kaoliini on huomattavasti kalliimpaa kuin tavalliset kaoliinituotteet, joten se ei sovellu massa- vaan erikoiskäyttöön, kun halutaan aikaansaada parannuksia paperin laatuun.

Suomen kaoliinipotentiaali

Kaoliinin etsintää on tehty Suomessa vähäisellä kapasiteetilla kautta maan useassa vaiheessa jo sota-ajoista lähtien. Aktiivisinta tutkimus oli Kainuussa 1980-luvun alkupuoliskolla (GTK ja Lohja Oy) ja Virtasalmen alueella 1986–1992 (GTK). Kainuussa löydetty esiintymät

olivat pitoisuuksiltaan köyhiä, kaoliiniittipitoisuus oli harvoin yli 10 %. On todettava, että Kainuun tutkimuksissa näyteenottokalusto oli yleensä heikkotehoista ja lisäksi raakakaoliinin rikastuskokeita tehtiin hyvin vähän. Sama pätee myös Lapissa tehtyihin kaoliini-tutkimuksiin. Sekä Kainuussa että Lapissa on vielä kaoliiniäiteita, joita ei ole tutkittu riittävästi.

Virtasalmen alueella GTK paikansi ja tutki 10 kaoliiniesiintymää. Näistä potentiaalisimmat ovat Litmanen, Vuorijoki, Ukonkangas, Eteläkylä, Kahdeksaisiensuo, Montola ja Niittylampi. Esiintymien todennäköiset vaalean kaoliinin varannot ovat 18 milj. tonnia, värillistä kaoliinia on 16 milj. tonnia ja mahdollisia varantoja 15 milj. tonnia /4/. Kolmen ensin mainitun esiintymän valtauksat ovat Kemira Oy:n hallussa.

GTK:n tutkimusten mukaan esiintymien kaoliiniittipitoisuus on 40–75 %, eli varsin korkea. Vaaleassa kaoliinissa on alle 20 µm:n raekokoa 60 %, sen vaaleusarvot ilman rikastusta ovat 60–86 % ja alle 2 µm:n osuus 30 %. Rikastuskokeissa on vaaleasta raakakaoliinista saatu osin paperin päällyste- ja osin täytekaoliinin vaaleusarvot (yli 85 % ja yli 79 %) täytettäviä tuotteita.

Mikä sitten on syynä, että lupaavista tutkimustuloksista huolimatta Virtasalmen kaoliiniesiintymiä ei ole alettu hyödyntää, vaikka lähin kaoliinia käyttävä paperitehdas on Varkaudessa vain 60 km päässä esiintymistä?

Suurimmat tutkimukselliset ongelmat liittyvät esiintymien heterogeenisuuteen ja paksuun, 10–30 m maapeitteeseen. Näin ollen esiintymistä on saatu vain porasydännäytteitä laatuselvityksiin, ja vain kaksi suurempaa näytettä, 5–10 tonnia on otettu kaivinpaalumenelemällä. Koska esiintymissä on melkoista sisäistä vaihtelua on niiden kokonaisuutuksesta vaikeaa saada luotettavaa käsitystä tutkimalla pelkästään porasydännäytteitä. Virtasalmen esiintymillä tulisi suorittaa riittävän laaja-alaista koelouhintaa ja tehdä eri kaoliini-tyypeistä pilot/tehdasmittakaavainen koerikastus. Tämä olisi hyvin perusteltua, sillä esiintymien raakakaoliinista voisi saada 6–7 miljoonaa tonnia paperiteollisuudelle kelpavaa tuotetta ja lisäksi ainakin kolmasosa lopputuotteesta voisi kelvata päällystekaoliiniksi.

Tämänhetkisten hintojen mukaan maksaa 6 milj. tonnia täytekaoliinia (600 mk/t) Suomen paperiteollisuudelle 3,6 mrd. mk. ja jos kolmasosa olisi päällystelaatua (1000 mk/t) olisi kokonaishinta 4,4 mrd. mk.

Jo tämä karkea arvio osoittaa, että mikäli kaoliinin tuotanto Virtasalmella voidaan aloittaa, on kysymys todella suuresta kaivosteollisuuden uudesta aluevaltaukselta Suomessa.

KARBONAATIT

Karbonaattien käyttö paperin täyte- ja etenkin päällysteaineena alkoi kasvaa merkittävästi vasta 15–20 vuotta sitten. Kaoliinista oli ajoittain pulaa ja hinta kohosi, joten tarvittiin uusi pigmenttiminerale, jonka esiintyminen oli yleisempää kuin kaoliini. Vastaus tähän oli karbonaattit. Niiden käyttö paperipigmenttinä kuitenkin vaati, että paperinvalmistuksessa siirryttiin happamasta alkaaliseen prosessiin. Kun nämä ratkaisut oli tehty alkoi karbonaattien käyttö paperin valmistuksessa kasvaa kiihtyvällä vauhdilla ja Euroopassa karbonaatteja käytetään jo lähes yhtä paljon kuin kaoliinia.

Karbonaattien etuna kaoliiniin verrattuna on, että käyttökelpoiset esiintymät ovat huomattavasti yleisempiä ja myös pigmentille asetettavat laatuvaatimukset (mm. vaaleus, optiset ja paino-ominaisuudet) ovat karbonaattien kohdalla usein helpommin täytettävissä kuin kaoliinilla.

Suomessa karbonaattimineraleiden käyttö paperin päällyste- ja täyteaineena oli vähäistä vielä 1980-luvun alussa (taulukko 2), mutta kun alkuun päästiin on kehitys ollut nopeata ja kymmenvuotiskautena 1984–1994 karbonaattien käyttö kasvoi noin 60 000 tonnin vuosivauhtia. Viimeisten viiden vuoden aikana kasvu on kohdistunut suurelta osin päällystekarbonaatteihin, joiden käyttö jo tänä vuonna ylittää 400 000 tonnin rajan. Yli kolme neljäsosaa tästä on kotimaista mikrokalsiittia, jota tuotetaan Suomen Karbonaatti Oy:n (51 % Partek, 49 % Omya) laitoksilla Lappeenrannassa ja Omya Finland Oy:n (100 % Omya) tehtailla Förybyssä. Suomen Karbonaatti Oy on laajentamassa tuotantoaan ja sen jälkeen se on 400 000 tonnin kapasiteetillaan Suomen selvästi suurin mikrokalsiitin tuottaja.

Myös saostetun kalsiumkarbonaatin (PCC) käyttö paperipigmenttinä, toistaiseksi lähes yksinomaan täyteenä, on aivan viime vuosina

kasvanut voimakkaasti. Suomessa alalla toimii kaksi yritystä, tanskalainen Faxe Kalk ja Nordcarb Oy Ab (70 % Specialty Minerals Inc., USA ja 30 % Partek). Faxe Kalk'illa on kolme PCC laitosta; Kuusankoski, Kemi ja Kaukopää (rakenteilla) ja niiden yhteiskapasiteetti on yli 100 000 tonnia/vuosi. Nordcarb'in laitokset ovat Tervakoskella, Lappeenrannassa ja Äänekoskella ja niiden kapasiteetti vajaan 50 000 tonnia/vuosi.

Paperin täytekarbonaattista valtaosa on liitukalkkia, jota tuodaan pääasiassa Tanskasta ja Englannista. Liidun käyttö täyteaineena perustuu paljolti sen helppoon saatavuuteen ja halpaan hintaan, mutta esimerkiksi vaaleusominaisuuksiltaan se ei ole kilpailijoidensa veroinen ja PCC:a on alettu enenevässä määrin käyttämään liidun sijasta korkealaatuissa hienopapereissa.

Huolimatta kotimaisten karbonaattipohjaisten paperipigmenttien tuotannon ja käytön voimakkaasta kasvusta, on niiden tuonti vielä varsin huomattavaa. Karbonaattitäyteaineiden kotimaisuusaste on vain yksi kolmasosa, johtuen liidun suuresta tuonnista, myös PCC:n valmistukseen käytettävästä poltetusta kalkista on pääosa tuontitavaraa.

Päällysteeksi käytetystä mikrokalsiitista tuotetaan kolme neljäsosaa Suomessa ja kapasiteettia ollaan lisäämässä.

Kun otetaan huomioon paperiteollisuuden jo tekemät investoinnit on nähtävissä, että juuri karbonaattipigmenttien tarve tulee muuttamassa vuodessa kasvamaan useampia satoja tuhansia tonneja.

Suomessa karbonaattipigmenttien raaka-aineita tuotetaan mikrokalsiittia varten Lappeenrannassa ja Förybyssä, joista jälkimmäisessä kalkkikivi louhitaan varsin syvältä maanalaisesta kaivoksesta. Nordcarb saa PCC:n valmistukseen tarvittavaa poltettua kalkkia Ruokojärveltä ja Lappeenrannasta, kun taas Faxe Kalk tuo sen ulkoa.

Karbonaattipigmenttien raaka-aineeksi soveltuvilla kalsiittisilla karbonaattikivillä on odotettavissa kasvavaa kysyntää tulevaisuudessa, sillä jo tällä hetkellä Omya tuo mikrokalsiittia Norjasta. Toisaalta myös English China Clay (ECC) on rakentanut Sundsvall'iin mikrokalsiittitehtaan, jonne ainakin pääosa raaka-aineesta on suunniteltu tuotavaksi Italiasta.

Suomessa on mahdollisuuksia löytää uusia paperipigmenttien raaka-aineeksi soveltuvia karbonaattikiviesiintymiä. GTK onkin aloittanut maanlaajuisen tutkimuksen, jossa pyritään paikantamaan potentiaaliset esiintymät sekä selvittämään niistä saatavan kiven rikastettavuutta ja lopputuotteen teknisiä ominaisuuksia.

TALKKI

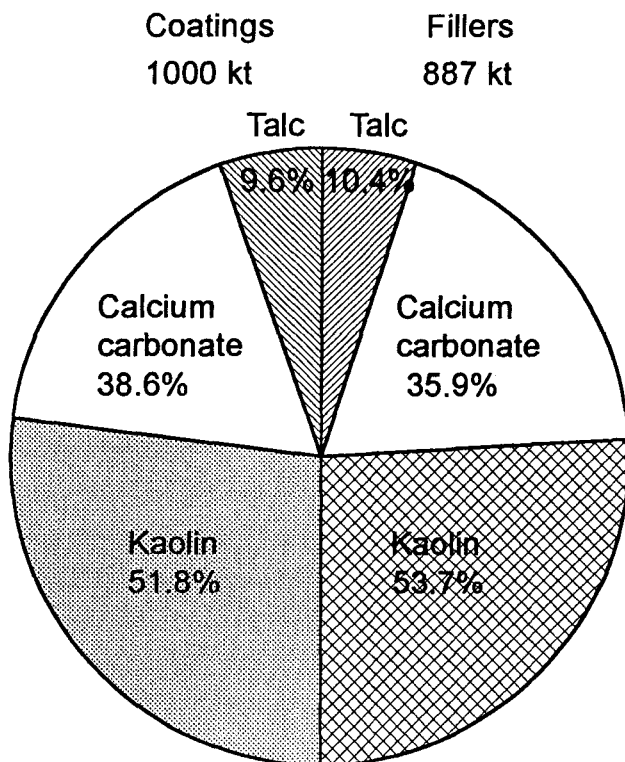
Talkki on hyvin pehmeä, puhtaana valkea, levymäinen ja inertti mineraali, jolla on vahva rasvan ja öljyn sitomiskyky ja siksi se on paitsi hyvä päällyste- ja täyteaine myös erittäin hyvä pihkan poistaja selluloosan valmistuksessa. Paperissa talkki parantaa musteen sitomiskykyä, opasiteettia ja vaaleutta. Talkin käytöllä paperinvalmistuksessa on Suomessa pitkät perinteet ja sen myötä huippuunsa kehitetty tekninen osaaminen talkin prosessoinnissa. Niinpä talkin vientiä on pystytty lisäämään tiukasta kilpailutilanteesta huolimatta ja tällä hetkellä viennin osuus on jo noin puolet vuosituotannosta, joka viime vuonna nousi uuteen ennätyslukuun, 453 000 tonniin. Suomen paperiteollisuus käytti v. 1994 päällystystalkkia 96 000 tonnia ja täyteaineena 92 000 tonnia, lisäksi pihkan poistoon käytettiin 22 000 tonnia.

Suomen talkkiteollisuus on tällä hetkellä kokonaisuudessaan Finnminerals Oy:n omistuksessa, sen jälkeen kun Partek myi oman talkkituotantonsa 1990-luvun taitteessa. Marraskuussa Finnmineralsin omistaja Yhtyneet Paperitehtaat ilmoitti, että talkkiteollisuus myydään australialaisen Western Mining Corporationin ja sveitsiläisen Plüß Staufer'in (Omya) yhteisyritykselle.

Finnminerals louhii vuolukivityypin talkkimalmia Lahnaslammella, Horsmanahossa ja Lipasvaarassa, jalostuslaitokset ovat Vuonoksessa, Luikonlahdella ja Lahnaslammella. Finnmineralsin talkkimalmireservit ovat hyvät ja louhinnan kohteena olevien esiintymien lisäksi yhtiöllä on myös reserviesiintymiä eli toiminnan jatkuvuus näyttää vakaalta.

Uutena kehitysmahdollisuutena talkkituotannossa voisi olla sedimenttisiin karbonaattikiviin liittyvät talkkiesiintymät, koska niistä saatu talkki on usein hyvin puhdasta ja soveltuu korkeahintaisiin erikoistuotteisiin. Tällaisista talkkiesiintymistä on Suomessakin viitteitä, mutta tutkimukset ovat vasta alkuvaiheessa.

CONSUMPTION OF PAPERPIGMENTS 1994



Kuva 2. Paperin täyte- ja päällysteaineiden käyttömäärien jakautuminen v. 1994.

Fig. 2. The distribution of the consumption of filler and coating pigments in 1994.

MUUT PIGMENTTIMINERAALIT

Kipsi

Kemira Oy on pitkäjänteisen kehitystyön tuloksena tuonut paperipigmenttimarkkinoille uuden tuotteen, päällystekipsin. Sitä tehdään lannoitetuotannon sivutuotteena syntyvästä kipsistä. Raaka-aineeksi valittavalta kipsiltä edellytetään tarkkaa laatukontrollia, jotta siitä saadaan korkealaatuinen päällystetuote. Aiemmin kipsipigmentin tuotanto oli 20 000 t/v /5/, mutta v. 1995 alussa kapasiteetti nostettiin 60 000 tonniin. Kipsi parantaa erityisesti paperin vaaleutta ja offset-painatusominaisuuksia, mutta sen käyttö edellyttää tarkkaa kontrollia ja sitä käytetään pääasiassa yhdessä kaoliinin kanssa.

Titaanidioksidi (TiO₂)

Titaanidioksidipigmenttiä, joka on synteettistä anataasia tai rutiilia valmistetaan ilmeniittistä (88 %) ja rutiilista. Vuonna 1994 maailmantuotanto oli noin 3,6 milj. tonnia, josta paperin valmistuksessa käytettiin noin 0,5 milj. tonnia/1/. Varsinkin optisilta ominaisuuksiltaan titaanidioksidi on pigmenttien huippuluokkaa, ja sitä se on myös

hinnaltaan, esimerkiksi rutiili, jota käytetään mm. paperin päällysteaineena, maksaa tällä hetkellä yli 10 000 mk/tonni. Tästä johtuneekin ainakin osaksi se, että Suomen paperiteollisuus käyttää vain noin 3 000 tonnia titaanidioksidia vuodessa.

Kemira Pigments Oy on pitkään ollut mukana TiO₂-pigmenttien valmistuksessa ja vuoteen 1985 saakka raaka-aineena käytettiin Otanmäen ilmeniittirikastetta. Sen jälkeen ilmeniitti on hankittu maailmanmarkkinoilta ja viime vuosina pääosa rikasteesta on ostettu Norjan Tellnesistä, Titania A/S:n kaivokselta. Vuonna 1994 tuotiin vajaat 300 000 tonnia ilmeniittirikastetta (44 % TiO₂), josta tuotettiin 80 000–90 000 tonnia titaanidioksidia. Parhaillaan Porissa on menossa 400 milj. markan uudistusinvestointi, joka nostaa vuosituotannon 120 000 tonniin /6/. Kapasiteetin kasvu painottuu erikoispigmentteihin ja valtaosa tuotannosta menee vientiin. Laajennustyön yhteydessä myös sulfaatti-prosessiin perustuvan tuotannon vedenkierrätys ja -puhdistus uusitaan ja viimeistään vuonna 1998 mereen johtanut poistovesiputki voidaan poistaa käytöstä.

Paitsi Porissa, Kemiralla on TiO₂-pigmenttilaitokset Rotterdamissa, jonka kapasiteettia ollaan kohottamassa 56 000 tonniin/vuosi, ja Savannahissa Yhdysvalloissa, kapasiteetti 145 000 tonnia. Kemira Pigments Oy on maailman viidenneksi suurin TiO₂-pigmentin tuottaja, kapasiteetti on uudistusten jälkeen yhteensä 321 000 tonnia/vuosi eli vajaat 10 % maailman tuotannosta.

Suomessa tuotettiin Otanmäen kaivoksesta kaikkiaan 3,8 milj. tonnia ilmeniittirikastetta 32 vuoden aikana /7/. Uusitulla kapasiteetillaan Vuorikemian TiO₂-pigmenttilaitos käyttää vastaavan määrän kymmenessä vuodessa.

Suomessa on GTK:n toimesta etsitty uusia ilmeniittiesiintymiä useiden vuosien ajan. Kolarin Karhujupukassa ja Korttonlehdossa tutkittiin magnetiitti-ilmeniittigabroa 1980-luvun lopulla ja arvioitiin 9,2 % TiO₂, 40 % Fe ja 0,3 % V sisältävän malmikiven määräksi noin 5 milj. tonnia, 80 m syvyyteen laskettuna.

Honkajoen-Kauhajoen alueella tutkittiin jo 1980-luvun alkupuolella laajoja gabromassiveja, aluksi apatiitin vuoksi. Vuosikymmenen loppupuolella kiinnitettiin huomio ilmeniittipitoisuuteen, ja parhaimmillaan TiO₂-pitoisuus oli porasydämissä 7,6 %, mutta keskipitoisuus oli selvästi alhaisempi.

Vuonna 1993 ilmeniittitutkimukset keskitettiin Kälviän Koivusaarennevalle, josta Rautaruukki Oy löysi 1970-luvun alkupuolella magnetiitti-ilmeniittiesiintymän. Tämänhetkisen arvion mukaan esiintymässä on 150 m syvyyteen laskettuna yli 20 miljoonaa tonnia 9 % TiO₂ sisältävää malmikiveä. Lisäksi se sisältää 6 % magnetiittia, jonka vanadiinipitoisuus on 0,7 %. Rikastuskokeiden tulokset ovat olleet rohkaisevia. Koivusaarennevan lähialueilla on myös muita lupaavia ilmeniittiaiheita, joita edelleen tutkitaan. Seuraavassa tutkimusvaiheessa pitäisi perusteellisiin rikastus- ja käyttökokein selvittää kaikki ko. malmityypin tarjoamat hyödyntämismahdollisuudet.

YHTEENVETO

Suomen paperi- ja kartonkiteollisuudessa on korkealaatuisten paino- ja kirjoituspaperilaatujen tuotanto kasvanut n. 10 % vuosivauhtia viimeisten kolmen vuoden aikana. Tätäkin enemmän on kasvanut päällyste- ja täyteaineiden käyttö. Tämä johtuu siitä, että paperin vaaleutta, opasiteettia ja painatusominaisuuksia halutaan edelleen parantaa. Kehitys näyttää jatkuvan samansuuntaisena, ja varsin pian paperiteollisuus maksaa käyttämistään mineraalisista päällyste- ja täyteaineista 2 mrd. markkaa vuodessa. Tällä hetkellä yli kaksi kolmasosaa pigmenttimateriaaleista on tuontitavaraa. Suomessa on hyvät mahdollisuudet lisätä kotimaisten päällyste- ja täyteaineiden tuotantoa. Edellytyksenä on että uusien esiintymien etsintään sekä löydösten rikastus- ja käyttötekniisiin tutkimuksiin todella panostetaan niiden taloudellista merkitystä vastaavasti.

Jatkuu sivulla 62

KIRJALLISUUS – REFERENCES

1. Harben, Peter, W. 1995. Industrial Minerals Handy Book II, England.
2. White Minerals – a European perspective. Minerals Industry International, No 1023, 1995.
3. European Minerals Yearbook 1995. European Commission, Roskill Information Services Ltd, England.
4. Pekkala, Y. 1992. Virtasalmen kaoliiniesiintymien arviointi. Malmiarvioseminaari. Vuorimiesyhdistys – Bergsmannföreningen, Sarja B, No 53.
5. Kemia-Kemi, Finnish Chemistry. Vuosikerrat 1980–1995. Kemia Kustannus Oy, Helsinki.
6. Kemira-lehti 1/1995.
7. Illi, J., Lindholm, O., Levanto, U-M., Nikula, J., Pöyliö, E. ja Vuoristo, E. 1985. Otanmäen kaivos. Vuoriteollisuus – Berghanteringen, No 2, 1985.
8. Karvinen, A., Kojonen, K. and Johanson, B. 1989. Geology and mineralogy of the Karhujupukka Ti-V-Fe deposit in Kolari, northern Finland. Geological Survey of Finland, Special Paper 10.
9. Chernet, T. and Kärkkäinen, N. 1995. Geology and Mineralogy of the Koivusaaren neva ilmenite deposit. Geological Survey of Finland, Special Paper 20.

SUMMARY

MINERAL RAW MATERIALS IN PAPER – CONSUMPTION, PRODUCTION AND PERSPECTIVES IN FINLAND.

Finland in one of the world's major paper producers and is consequently a large-scale consumer of paper pigments. In 1996 the total consumption will exceed 2 million tonnes, of which more than a half is kaolin, the remainder comprising over 0.7 million tonnes carbonates, about 0.2 million tonnes talc and a few tonnes of titaniumdioxide and other pigments. All kaolin and about 40 % of carbonates are imported while all talc has a domestic source, with about half of its production going to export. Titanium dioxide production is currently around 0.1 Mtpa and is made of imported ilmenite. Most of the TiO₂ is exported, with less than 10 % being consumed in the country and of this, only a couple of tonnes are used in paper manufacturing.

Finland has considerable potential for increasing domestic production of paper pigments, but much work needs to be done, both in prospecting and in studies into extraction and utilization of resources.

At present talc reserves are adequate for tens of years' production.

Most of the material for carbonate pigments is produced domestically but the possibilities for discovering new exploitable deposits are reasonable.

Even though exploration for kaolin deposits has been going on for over 15 years, no domestic deposits are so far in production. The occurrence with the best potential at present is in Virtasalmi, where possible reserves of 17–18 million tonnes of paper grade kaolin are known. However due to thick overburden, up to 30 m, and the heterogeneity of raw kaolin, potential deposits have not yet been exploited.

Exploration for ilmenite has been in progress for many years and the most promising findings are at Koivusaarenneva in mid western Finland. Current reserves of ilmenite- magnetite rock at 9 % TiO₂ is estimated at 20 million tonnes. However more work is needed to find out if the deposit can be exploited economically.

**VUORIMIESYHDISTYS –
BERGSMANNAFÖRENINGEN r.y.:n**

VUOSIKOKOUS

pidetään Helsingissä 22.–23.3.1996

Kokouksesta ilmoitetaan tarkemmin myöhemmin postitettavassa kutsussa.

**VUORIMIESYHDISTYS –
BERGSMANNAFÖRENINGEN r.y.:s**

ÅRSMÖTE

hålls i Helsingfors den 22.–23.3.1996

Närmare uppgifter meddelas i inbjudan som postas vid en senare tidpunkt.

Rautaruukki Raahe Steel:in masuuni 1:n uudistaminen

Dipl.ins. Erkki Pisilä, Rautaruukki Oy, Raahen terästehdas

YLEISTÄ

Rautaruukin Raahe Steelin masuuni 1 peruskorjattiin edellisen kerran vuonna 1985. 10 vuoden kampanjan aikana tuotettiin raakarautaa 9 miljoonaa tonnia. 30 vuotta Rautaruukkia palvellut masuuni 1 purettiin täysin tämän vuoden kesällä ja rakennettiin uudelleen erittäin tiukassa aikataulussa. Masuuni oli poissa tuotannosta 76 vuorokautta. Käynnistys tapahtui 11.8.1995 klo 19.22, kuusi vuorokautta suunnitellusta aikataulusta etuajassa. Varsinaisen masuunin lisäksi rakennettiin täysin uusi masuunikuonan suoragranulointilaitteisto ja lisättiin masuunin ilmapuhaltimen kapasiteettia voimalaitoksella. Masuunin perusautomaatiojärjestelmä ja tietokonetaso uusittiin sekä rakennettiin uusi ohjaamo, joka on nyt yhteinen masuuni 2:n kanssa.

TAVOITTEET

Varsinaista seisokkia edelsi mittava yli 4 vuotta kestänyt suunnittelu- vaihe, jonka aikana käytiin läpi mm. erilaiset masuunin jäähdytysjärjestelmien toteutusvaihtoehdot ja määritettiin masuunin profiili. Suunnittelun tärkeimmät lähtöarvot olivat:

- 15 vuoden kampanja
- 100 % suljettu jäähdytysjärjestelmä
- 3500 t/vrk tuotanto
- kilpailukyky alansa huippua
- ympäristönäkökohdat huomioitava

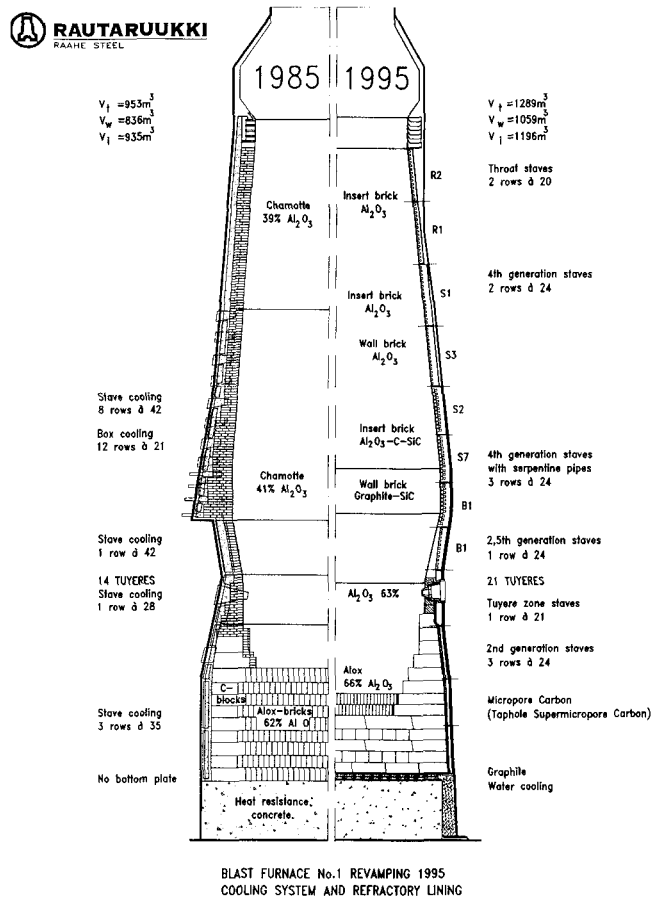
Masuunin perusratkaisuista päätettiin tehdä esiselvitys ja se tilattiin luxemburgilaiselta suunnittelu- ja konepajafirmalta, Paul Wurth. Masuunin kolmesta eri vaihtoehdosta päädyttiin jäähdytysjärjestelmän osalta 100 % laattajäähdytysteekniikkaan, jolloin yksityiskohtainen suunnittelu saattoi käynnistyä Raahe Steelin suunnittelupalveluosastolla.

Laattatekniikan käyttö mahdollisti uunin sisätilavuuden kasvattamisen 30 %:lla ja antoi samalla edellytykset nopeaan asennusaikatauluun.

MEKAANISTENLAITTEIDEN JA TULENKESTÄVIEN PERUSRATKAISUT

Masuunin teräsvalppa uusittiin täysin maatasosta alkaen aina 32 metrin korkeuteen. Teräsvalppa on toteutettu itsekantavana rakenteena ja siihen on käytetty Raahe Steelin omaa tuotantoa olevaa paineastia-terästä H2. Teräslevyn paksuus masuunin juurella on 70 mm. Puhallusilmahormit uusittiin ja niiden lukumäärää kasvatettiin 21 kpl:een entisen 14 sijasta.

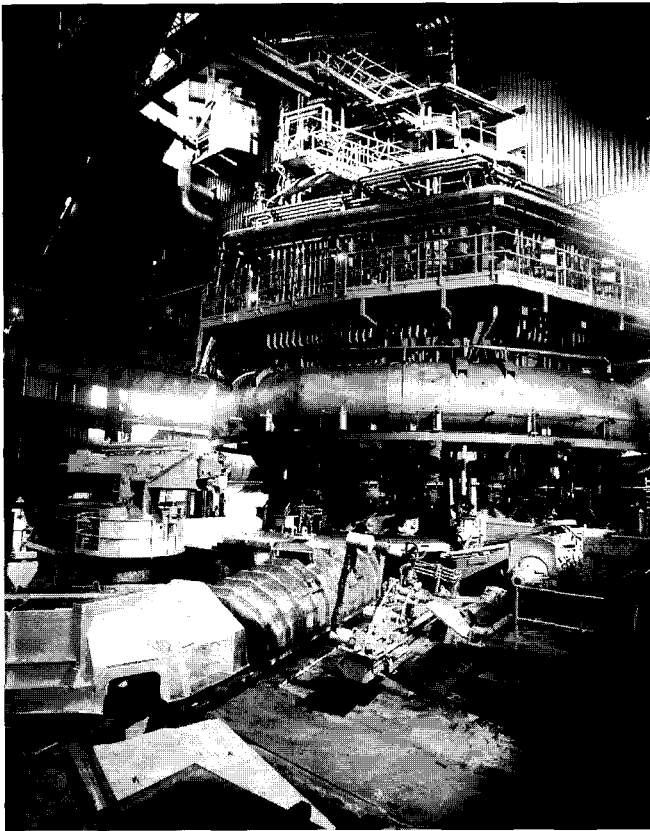
Jäähdytysjärjestelmästä rakennettiin suljettu, jolloin humuspitoisesta tekoaltaan vedestä voitiin luopua. Masuunin jäähdytyslaatoissa kiertää täysin puhdas tekninen vesi, joka jäähdytetään Alfa Lavalin titaani-levylämmönvaihtimissa merivedellä. Pumput ja lämmönvaihtimet sijaitsevat omassa pumppamorakennuksessa, joka voitiin rakentaa hyvissä ajoin ennen varsinaista masuunin peruskorjausta. Masuunin jäähdytysveden kierto ei sallita häiriöitä kampanjan aikana ja sen vuoksi sekä masuunivedelle että merivedelle asen-



Masuunin poikkileikkaus ennen ja jälkeen peruskorjauksen The cross-section of Blast Furnace before and after revamping.

nettiin varajärjestelmäksi myös dieselkäyttöiset pumput. Varsinaiset sähkökäyttöiset pumput ovat tehtaan varmennetussa sähköverkossa.

Masuunin jäähdytyslaatat, joita on 279 kappaletta, ovat yli 2 m korkeita ja reilun metrin leveitä valurautakappaleita. Laattojen kokonaispaksuus tulenkkestävämateriaali mukaanluettuna vaihtelee 440 mm:stä 230 mm:iin riippuen missä kohdassa masuunina ne sijaitsevat. Jokaisessa laatussa on vähintään 6 kpl jäähdytysvesiputkia ja kriittisen alueen, masuunin rastin laatoissa peräti 9 kpl omaa kiertoa. Laattatoimittajaksi valittiin japanilainen Nippon Steel, jolla on pitkä kokemus ja kehitystyö laattatekniikassa. Masuunikuilun laatat edus-



Masuuni 1 valuhallista kuvattuna.

The view of Blast Furnace 1 from the cast house.

tavat ns. neljännen sukupolven tekniikkaa. Tulenkestävä materiaali on asennettu valmiiksi ennen laatan valua valimolla, jolloin tiilet kiinnittyvät erittäin hyvin jäähdtyselementtiin muodostaen hyvän kontaktipinnan. Tämä tekniikka vähentää tulenkestävien materiaalien käyttöä ratkaisevasti ja lisäksi masuunin rakentamisen aikainen muuraustyö jää pois lyhentäen asennusaikaa.



Masuunin valvomo.

last Furnace control room.

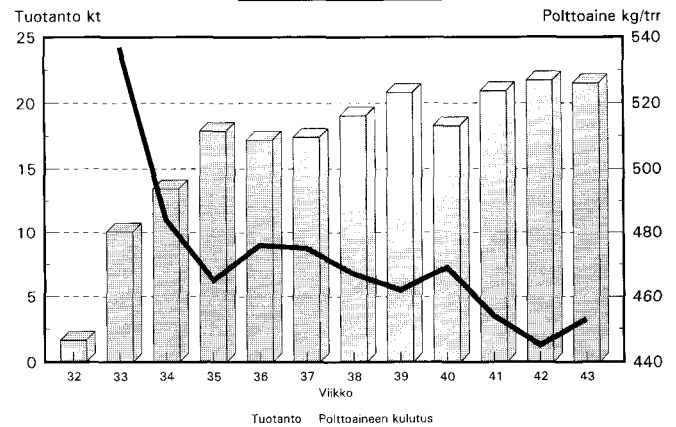
Masuunin pesän halkaisija kasvoi 10 %. Pesän rakenteeksi valittiin 500–600 mm paksuiset hiilitiiliblokit. Alimmainen kerros on grafiittia, joka takaa hyvän lämmönsiirron pohjajäähdtyksen kanssa. Grafiittikerroksen päällä on kolme mikrohuokoista hiilitiilikerrosta. Nämä neljä ensimmäistä kerrosta toimitti englantilainen Hepworth Refractories kuten myös tulenkestävät materiaalit uuteen rengas- ja kuumailmaputkeen. Varsinaisen pesän pohjan ja seinän hiilitiilet tilattiin japanilaiselta Nippon Electrode Co:lta, jossa pystytään tällä hetkellä valmistamaan myös suuria supermikrohuokoisia hiiliblokeja. Masuuni 1:n rautareian alue rakennettiin käyttäen tätä erittäin lämmönjohtavaa materiaalia. Masuunipesän hiiliblokeja jäähdtytetään 130 mm paksulla jäähdtykselaatoilla.

AUTOMAATIO- JA INFORMAATIOJÄRJESTELMÄ

Masuunin instrumentointia lisättiin mm. paine- ja lämpötilamittausten osalta voimakkaasti. Jatkuvia mittauksia on yhteensä 800 kpl ja IO-liitäntöjen lukumäärä on 7000 kpl. Perusautomaatio on toteutettu Valmetin Damatic XD:n uudella versiolla. Masuunin prosessinohjausmallit, trendit ja Expert-järjestelmä toimivat HP 9000 sarjan tietokoneella ja perustuvat työasemapohjaiseen sovellukseen.

Masuunin valvomo toteutettiin uudella 100 %:lla videovalvomo- ratkaisulla yhdistämällä se masuuni 2:n valvomon kanssa. Ohjaamon suunnäytöllä voidaan seurata kaikkia näyttöjä automaatiojärjestelmästä alkaen aina informaatiojärjestelmään ja alueen TV-valvontakeskukseen saakka. Ohjaamon ergonomiaan kiinnitettiin erityistä huomiota jo suunnitteluvaiheessa. Vuoden 1996 aikana uusitaan myös masuuni 2 valvomolaitteisto.

MASUUNI 1 TUOTANTO
KÄYNNISTYS 11.8.1995



Masuunin ylösajon ensimmäiset 12 viikkoa. (Tuotanto ja polttoaineen kokonaiskulutus)

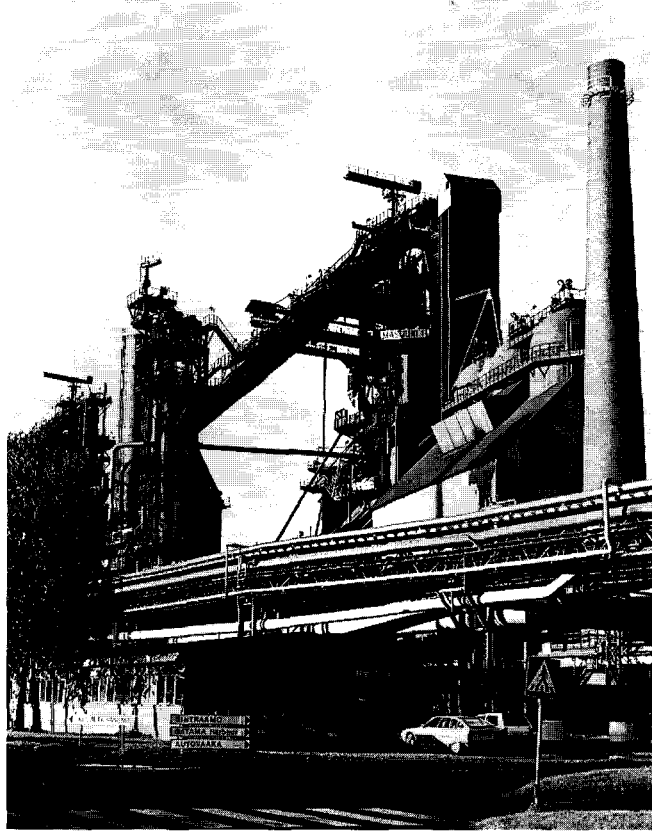
The blow-in of Blast Furnace. (Production and total fuel rate)

KUSTANNUKSET JA SAAVUTETUT TULOKSET

Masuuni 1:n uudistamisen kustannukset olivat 224 miljoonaa markkaa. Lisäksi masuunin ilmapuhaltimen kapasiteetin nostamiseen käytettiin 25 milj.mk ja suoragranulointilaitteistoon 40 milj.mk. Masuunin rakentamisessa oli enimmillään mukana yli 600 henkilöä viime kesän aikana.

Masuunin jäähdtyksjärjestelmä on osoittautunut tehokkaaksi jo kampanjan ensimmäisten viikkojen aikana. Automaatiojärjestelmä toimii hyvin ja masuunin ohjattavuus on parantunut lisääntyneiden mittausten myötä. Masuunin ylösajo on sujunut suunnitelmien mukaan. Uuden uunin rakenteiden ja tulenkestävien materiaalien lämmittäminen prosessin toimintapisteeseen vaatii noin 1,5–2 kuukautta aikaa. Ensimmäisen kuukauden aikana saavutettiin vuorokausi-

tuotannossa 3000 t:n taso ja kahden kuukauden jälkeen masuuni tuotti jo 3100 t/vrk. Masuunin ajoparametrejä ja energiatehokkuutta ollaan virittämässä kohdalleen samaan aikaan, kun tuotantoa nostetaan. Masuunikampanjan ensimmäiset viikot ovat osoittaneet, että tuotannossa tullaan saavuttamaan strategian mukainen tavoite täysin aikataulun mukaan. Masuunin työntuottavuus nousee uudistuksen myötä yli 30%.



Raahe Steelin masuuni 1.

Raahe Steel Blast Furnace 1.

Suoragranulointilaitteisto on toteutettu Paul Wurth'in INBA-menetelmällä ja prosessin sisäänajo on onnistunut hyvin. SKS-yhtiöt ovat saaneet jälleen pienen taun jälkeen granuloitua kuonaa myyntiin. Ensimmäinen talvi maailman pohjoisimmalle INBA-laitteistolle tulee olemaan todellinen testin paikka.

SUMMARY

THE REVAMPING OF BLAST FURNACE 1 AT RAUTARUUKKI RAAHE STEEL

Blast furnace 1 was completely revamped in summer 1995 during the 76-day reline. The preliminary study was done 4 years ago by Paul Wurth and the final design work by Raahe Steel Engineering. The new shell from the ground to the charging level was installed and the information system was modernized. The inner volume was increased 30 %. The hearth diameter is now 8 m and the amount of tuyeres 21 instead of 14. The cooling system is totally closed with sea water as the secondary circuit. The stove coolers are designed and fabricated by Nippon Steel. Nippon Steel's fourth generation stove coolers and micro-porous carbon blocks in the hearth can now contribute to a furnace of 15 years. The hearth lining is mainly micro-porous carbon blocks but also super micro-porous material was used to the tap hole area. The automation system is Damatic XD and is operated from the new control room which is common with Blast Furnace 2. The continued measurements are over 800 which are used in Expert System.

The total investment cost was FIM 289 Million. The costs are including also the new direct granulation system for Blast Furnace slag and the revamping of the blast blower. The blow-in of Blast furnace was done on 11th August and the operation experiences are good. The production of 3500 t/day can be reached during the campaign. The labour productivity is increasing more than 30 %.

NUOREN JÄSENEEN STIPENDI

Vuorimiesyhdistyksen hallitus on varannut nuoren jäsenen stipendiä varten vuoden 1996 talousarvioon määrärahan 5 000 markkaa.

Stipendi voidaan myöntää aktiiviselle nuorelle jäsenelle käytettäväksi vuoriteollisuuden toimintaan perehtymiseen.

Vapaamuotoisesta hakemuksesta, joka osoitetaan yhdistyksen hallitukselle, tulee ilmetä hakijan aikaisempi toiminta yhdistyk-

sen piirissä ja ammattialalla, opintomenestys ja stipendin käyttö-tarkoitus.

Stipendihakemukset on toimitettava yhdistyksen sihteerille 28.2.1996 mennessä. Stipendi luovutetaan yhdistyksen vuosikokouksen yhteydessä.

Sulfidimalmien esikäsitely vaahdotusrikastuksessa

Va. prof. TkL Hannu Kuopanportti, Oulun yliopisto, Prosessiteknikan osasto, Mekaanisen prosessiteknikan laboratorio, Oulu

VAAHDOTUS ALKAA JAUHATUKSESSA

Vaahdotusrikastuksen kannalta malmin tärkein esikäsitely on malmin hienontaminen. Sulfidimineraalirakeet, joilla on enemmän tai vähemmän puolijohteen ominaisuuksia, saavat jauhatuksen erittäin monimuotoisissa olosuhteissa ne pintaominaisuudet, joiden perusteella niiden vaahdotuminen itse asiassa tapahtuu. Valmennus- ja vaahdotuspiirissä mineraalien erottumista yleensä tehostetaan kemikaaleilla, kokoojilla ja säännöstelijöillä, mutta rakeiden pinnan ja suspension fysikaalinen ja kemiallinen perusrakenne ja se, mitä tietä ja miten nopeasti kemikaalien pintareaktiot etenevät, määräytyvät suurelta osin jauhatuksessa.

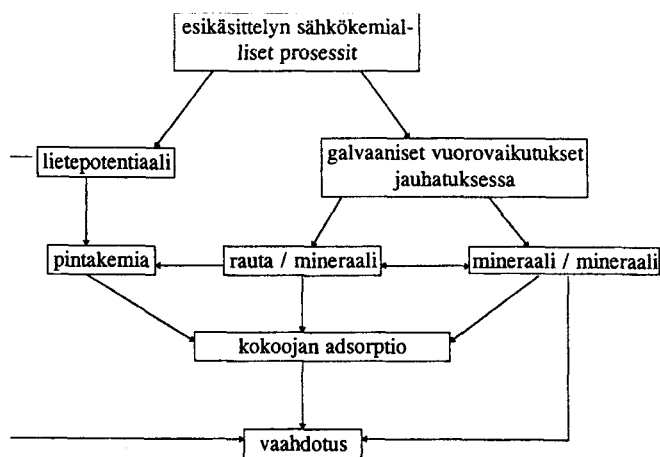
Sulfidimineraalit ovat termodynaamisesti pysymättömiä aineita ja pyrkivät yleensä muuttamaan pysyvämmiksi yhdisteiksi, oksideiksi. Sulfidipinnan kemiallisen aktiivisuuden ja hapettumisen perustekijä on sähkökemiallinen potentiaali, joka on suoraan verrannollinen Gibbsin vapaaseen energiaan ja siirtyvien elektronien lukumäärään. Malmin esikäsitelyssä hapettuneilla pinnoilla elektronin siirtoreaktiot ovat hitaita tai estyvät kokonaan. Tämä vaikuttaa epäsuorasti mm. valmennusvaiheessa tapahtuvaan ksantaattikokoojan adsorptioon. Tällöin sähkökemiallinen adsorptio tapahtuu kemiallisena adsorptiona, joka perustuu ioninvaihtoon nestefaasissa olevan ksantaatti-ionin ja mineraalipinnalla olevan hapetustuotteen kesken.

Sulfidimineraalien jauhatuksessa on läsnä sähkökemialliselta aktiivisuudeltaan erilaisia sähköä johtavia kiintoainepintoja. Niiden välillä vaikuttavat sähkökemialliset vuorovaikutukset muodostavat galvaanisia pareja. Galvaanisia vuorovaikutuksia on paitsi metallisten jauhinkappaleiden ja jauhimen vuorauksen ja mineraalirakeiden kesken myös sulfidimineraalirakeiden kesken (kuva 1). Rakeen kemiallinen pintarakenne muodostuu galvaanisten vuorovaikutusten ja kiinteän aineen ja nesteen välillä vaikuttavien vuorovaikutusten, liettepotentiaalim, yhteisvaikutuksesta. Pintarakenne voi sopivissa olosuhteissa olla hydrofobinen, esimerkiksi jos pinnalle muodostuu hapetustuotteena elementaarista rikkiä. Näin käyttäytyvää mineraalia pidetään yleisesti luonnollisesti vaahdotuttavana, vaikka haluttu pintarakenne on monien "keinotekoisesti" aikaansaatuisten ilmiöiden tulos.

SULFIDIMINERAALIEN HAPETTUMINEN RIKASTAMO-OLOSUHTEISSA

Hapen läsnäollessa sulfidimineraalipintojen jonkinasteinen hapettuminen rikastamo-olosuhteissa on todennäköistä. Useimmissa tapauksissa sulfidien yleinen hapettuminen heikentää vaahdotuksen saantia ja selektiivisyyttä. Liukenevat hapetustuotteet voivat tuottaa lietteeseen metalli-ioneja, jotka voivat reagoida tai adsorboitua muiden mineraalien pinnalle /2/. Ksantaattien adsorptioon perustuvan vaahdotuksen saanti voi tällöin parantua, mutta selektiivisyyden kustannuksella. Eri sulfidimineraalien hapettumisnopeudet voivat ko. olosuhteissa poiketa huomattavastikin toisistaan, mitä ominaisuutta voidaan toisaalta käyttää hyväksi vaahdotuksessa.

Termodynaamisiin tasapainotietoihin perustuvaa kemiallisten reaktioiden analysointia on vaikea soveltaa käytännön jauhatus- ja vaahdotustilanteisiin. Tasapainotilannetta saavutetaan harvoin johtu-



Kuva 1. Sulfidimineraalien vaahdotukseen vaikuttavat esikäsitelyn sähkökemialliset vuorovaikutukset. /1/

Fig. 1. Effects of electrochemical interactions in pretreatment on sulfide mineral flotation. /1/

en metastabiilien välituotteiden muodostumisesta liuos- tai kiintoainefaasissa, kiintoaineen epästökiometriasydestä ja hitaasta reaktionopeudesta. Sulfidien hapettumisessa on termodynaamisesti tarkasteltuna kysymys tietynasteisen rikki/sulfaattitasapainon saavuttamisesta, mutta käytännössä se saavutetaan erittäin hitaasti. Hapen, useiden sähkökemialliselta ominaisuuksiltaan erilaisten sulfidimineraalien, sekarakeiden ja jauhatusvaiheessa usein myös puhtaiden rautametallipintojen läsnäollessa voivat erilaiset korroosio- ja kemialliset hapettumisreaktiot edetä kohtuullisella nopeudella jopa useita tunteja.

Sulfidipinnan hapettuminen alkaa sen paljastuttua murskauksessa ja jauhatuksessa. Koska jauhatusprosessi on hidas, voi hapettuminen edetä pitkälle suotuisissa olosuhteissa, kuten vähän rautapintoja sisältävässä autogeenimyllyssä. Usein aktiivisten metallipintojen läsnäolosta johtuen olosuhteet ovat liian pelkistävät pintojen hapettumiselle, jolloin myllystä purkautuvalla jauheella saattaa olla suuri hapettumistaipumus ja liuennotta ilmaa sisältävään valmentimeen tai ilmastettuun kennoon jouduttuaan sen hapettuminen voi olla nopeaa.

Pintojen hapettumisastetta ja -taipumusta on pyritty seuraamaan mittaamalla lietteen happipitoisuutta rikastuspiirin eri kohdissa. On kuitenkin huomattava, että lietteen happipitoisuus on eräänlainen tasapaino hapenkulutuksen ja tarjonnan kesken. Suotuisissa olosuhteissa hapenkulutus ylittää selvästi hapen tarjonnan, jopa ilmastusaltaassa. Piirin happipitoisuudet ovat tavallisesti jauhatusvaiheessa ja sen ulostulovirtauksessa selvästi kyllästymisarvon alapuolella ja vaahdotusvaiheessa ne lähenevät kyllästymisarvoaan. Pitoisuusvaihtelut ovat varsinkin jauhatusvaiheen ulostulossa suuria, esimerkiksi 0–60 % kyllästymisarvosta /3/. Hapen pitoisuuden seu-

ranta tulee kysymykseen lähinnä silloin, kun hapen kulutus on suuri, jolloin happipitoisuus on selvästi alle kyllästymisarvonsa ja sen vaihtelut ovat mitattavia. Kun hapen kulutus on alhainen, ei pinnan lisähapettuminen välttämättä näy esim. valmentimen happipitoisuusarvoissa, jotka tällöin ovat lähellä kyllästymisarvoaan. Tällaisissa tapauksissa hapenkulutuksen nopeus on parempi muuttuja /4/ pintojen hapetusastetta ja hapen vaikutuksia tutkittaessa.

HAPETTUMISNOPEUTEEN VAIKUTTAVIA TEKIJÖITÄ

Hapen kulutukseen vaikuttavat aktiivisten mineraalien pinta-ala, joka on riippuvainen jauhatustajasta ja lietteen kiintoainepitoisuudesta, lietteen lämpötila ja malmin mineralogia, johon liittyy tekijöitä ovat kiderakenteen vaihtelut, viat ja epäpuhtaudet. Hapetusnopeuteen vaikuttavat lisäksi ympäristön sähkökemiallinen aktiivisuus ja pintoja ympäröivän fluidin kemiallinen koostumus, ts. lietteeseen liunneen hapen pitoisuus, lietteen pH ja reagenssien laatu ja pitoisuus sekä kuivajauhatus ilman hapen, sen kontaktiajan ja kosteuden vaikutus.

Lietteen lämpötilan nousu 20 °C:lla voi aiheuttaa hapen kulutusnopeuden kaksinkertaistumisen /4/. Eri paikasta louhittujen, samoja sulfidimineraaleja sisältävän malmin hapenkulutuksen nopeudet voivat poiketa huomattavasti toisistaan. Myös eri sulfidimineraalien hapettumisnopeudet poikkeavat toisistaan, esim. rikkikiisulla hapen kulutusnopeus on huomattavasti pienempi kuin magneettikiisulla.

Emäksisissä olosuhteissa tapahtuva rikkikiisun esikäsitely lisää hapettumista /5/, toisaalta happamissa olosuhteissa hapettuminen vähenee. Ksantaatin läsnäollessa pinnan hapettuminen vaikeutuu etenkin alhaisissa pH-arvoissa. Rikkikiisun hapetusasteen pienentyessä ksantaatin adsorptio ja mineraalin vaahdotuvuus paranee.

Lietteen happipitoisuuden vaikutus tulee esille hapettumisen nopealla alkujaksolla, jolloin hapen saatavuutta mineraalin pinnalla rajoittaa hapen siirtyminen ilmakehän veteen kuplaa ympäröivän rajavesikerroksen läpi. Tällöin hapen tarjonta on riittämätön, mikä näkyy lietteen alhaisena happipitoisuutena. Hapen diffuusiota vesifaasiin voidaan kiihdyttää huomattavasti nostamalla ilmastuspainetta tai käyttämällä ilman tilalla puhdasta happea. Puhtaan hapen käyttö ilman tilalla nostaa lietteen happipitoisuuden 8,4 ppm:stä (25 °C) 39 ppm:ään, jolloin hapettumisen nopean alkujakson pituus voi lyhentyä 1/3 osaan normaaliin ilmastukseen verrattuna /4/. Nopean alkujakson jälkeen hapetusasteen hidastavat aineensiirtoa sulfidin pinnalla, jolloin lietteen happipitoisuudella on enää vähäinen vaikutus hapettumisnopeuteen.

LUONNOLLINEN VAAHDOTTUVUUS

Luonnolliseen vaahdotuvuuteen johtavat tekijät ovat vielä epäselviä. Useimmiten sen oletetaan johtuvan joko erilaisia kiderakenteita omaavasta elementaarisesta rikkikerroksesta tai metallista vajaasta reaktiotuoteroksesta. Hapettomissa olosuhteissa eräät sulfidimineraalit, kuten molybdeenihohde, ovat luonnostaan vaahdotuvia, mikä johtuu siitä, että sulfidin kidepinta on heikosti hydratoitunut, elementaarista rikkia muodostuu systeemiin jääneestä hapesta johtuen sekä siitä, että reagoimattoman kidepinnan päälle muodostuu metallista vajaa kerros /6/. Kerroksen kiderakenteella on alkuperäistä alhaisempi metallipitoisuus ja sen stabiilisuuden uskotaan johtuvan mineraalin kanssa yhteisistä rikin hilapinnoista /7,8/.

Myös kohtuullisesti hapettavissa olosuhteissa monet sulfidimineraalit ovat luonnostaan vaahdotuvia, minkä oletetaan johtuvan periaatteessa samoista syistä kuin hapettomissa olosuhteissa. Kidepinnan heikko hydratoituminen aiheuttaa hapen adsorboitumisesta tai kemisorptiosta mineraalipinnoille. Hapen nopeahko kemisorptio voi estää esimerkiksi kuparikiisun hydratoitumisen ja aiheuttaa sen luonnollisen vaahdotumisen malmilietteestä /9/.

JAUHATUSOLOSUHTEIDEN VAIKUTUKSET

Yleistä

Jauhatusolosuhteet ja tapahtumat jauhatu- ja vaahdotusvaiheen välillä vaikuttavat ratkaisevasti vaahdotuvuuteen. Suspension esi-

käsittelyssä saamista ominaisuuksista tärkeimpiä ovat lietepotentiaali, hapetusaste, jauhatusaste ts. sekarakeiden vaikutus ja yleensä suspension kemiallisfysikaaliset ominaisuudet kuten pH, happi-, reagenssi-, metallihiukkas- ja ionipitoisuus, lämpötila jne. Vaahdotuksen mekaniikan kannalta tärkeitä ominaisuuksia ovat rakekoko, rakekokojakauma ja kiintoainepitoisuus.

Viime vuosina on tutkittu erityisesti lietepotentiaalia ja rakeiden redox-tilaa sekä laboratorio- että tehdasolosuhteissa. Laboratoriokeissa sulfidimineraalien on todettu vaahdotuvan tietyllä potentiaalialueella. Sovellettaessa koetuloksia tehdasolosuhteisiin on otettava huomioon, että jatkuvatoimisissa täysimittaisissa myllyissä, jotka ovat ilmakehän vaikutuksille alttiita, lietepotentiaali ei aina laske samassa määrin kuin suljetuissa laboratoriomyllyissä. Laboratorio- ja tehdasmyllyjen rummuissa ja niiden vuorauksissa sekä jauhin-kappaleissa käytetyt teräslaadut eivät useinkaan vastaa täysin toisistaan. Edelleen jatkuvatoimisissa tehdasoloissa jauhatusta edeltää usein luokitus, josta hienoimmat rakeet johdetaan jauhatuksen ohi suoraan vaahdotusvaiheeseen. Tällaisten rakeiden redox-tila voi poiketa huomattavasti pelkistävän jauhatuksen kautta tullessiin rakeisiin verrattuna ja ne voivat muuttua vaahdotamon syötteen lietepotentiaalia. Vaahdotustulosten vertailun lähtökohta tulee olla vaahdotusta edeltävän käsittelyn aikaansaama redox-tila ja lietepotentiaali.

Lietepotentiaalinväli (vs. SHE) ovat käytännön olosuhteissa usein suhteellisen lähellä nollaa olevalla alueella, joilla arvoilla monien sulfidimineraalien vaahdotuminen alkaa. Tällöin mikä tahansa tekijä, joka hidastaa potentiaalinvälin nousua tai suorastaan laskee sitä jauhatu- ja vaahdotustapahtuman välillä, voi alentaa mineraalin saantia. Tällainen tekijä voi olla esim. lievästi pelkistävä reagenssi, joka vähentää lietteeseen liunneen hapen määrää ja aiheuttaa rautapintojen läsnäollessa lietepotentiaalinvälin laskemista. Tilanne vaikeutuu edelleen, jos koko potentiaalitaso muuttuu tai osa siitä tapahtuu vaahdotuksen aikana. Saannin pieneminen näkyy tavallisesti ensimmäisenä karkeissa rakeissa, jotka herkimmin reagoivat vaahdotusolosuhteiden muutoksiin.

Lietepotentiaalinvälin käyttö vaahdotuvuuden ohjauksessa merkitsee redox-olosuhteiden tai hapen määrän ohjausta jauhatuksessa ja vaahdotuksessa. Vaahdotuksen ohjauksessa sen käyttöä vaikeuttavat suuret ilmamäärät, jolloin potentiaalimuutoksiin ja potentiaalitason ylläpitämiseen tarvittavat reagenssimäärät ovat yleensä kohtuuttoman suuret. Potentiaaliohjauksen tehokas hyväksikäyttö nykyisissä rikastamoissa edellyttää muutoksia koko prosessissa, joten kustannussyistä sen käyttö tulee kysymykseen lähinnä vain uusissa rikastamoissa suunniteltaessa.

Jauhinmateriaalien ja mineraalien vuorovaikutus

Jauhatuskäsittelyssä partikkelit joutuvat toistuvasti kosketuksiin jauhatusväliaineen kanssa. Samanaikaisesti mineraalien pinnoille tarttuu hankauksen irrottamia metallihiukkasia, joten galvaaninen vuorovaikutus ja galvaanisten parien muodostuminen on mahdollista. Magneettikiisun tapauksessa rautahiukkasten kiinnittymistä pinnoille lujittaa vielä magneettiset vuorovaikutukset.

Sulfidimineraalien jäännöspotentiaalinvälin, yhdistetyn potentiaalinvälin, arvoon vaikuttaa mm. se, onko lietteessä ksantaattia, happea tai onko suora Fe-kontakti mahdollinen. Ilman Fe-kontaktia yhdistetyn potentiaalinväli ovat yleensä positiivisempia kuin ksantaatti/diksantaattiparinvälin tasapainopotentiaali riippumatta siitä, onko happea läsnä vai ei /10/. Pelkistävissä Fe-kontaktissa jäännöspotentiaalinväli ovat huomattavasti negatiivisempia etenkin hapettomissa olosuhteissa. Ksantaatin läsnäollessa alenee sekä yksittäisen sulfidimineraalin että sulfidiraupparinvälin jäännöspotentiaali vähäpäässä olosuhteissa. Suurissa ksantaattipitoisuuksissa tämä näkyy etenkin jaloimpien sulfidimineraalien, rikkikiisun, magneettikiisun ja kuparikiisun potentiaalinväliarvoissa. Hapen läsnäollessa ksantaatin aiheuttama potentiaalinvälin lasku on huomattavasti hillitympi /10/.

Sulfidimineraalien ja metallisten jauhinmateriaalien välinen sähkökemiallinen vuorovaikutus voi huonontaa mineraalin vaahdotuvuutta ja jos sulfidimineraali on jalompi kuin jauhinmateriaali, sillä on myös jauhinmen korroosiota lisäävä vaikutus. Mitä aktiivisemmin metallin kanssa sulfidimineraali on kosketuksissa jauhatuksen aikana, sitä negatiivisemmiksi muodostuvat kontaktissa olevien parien jäännöspotentiaalinväli ja sitä huonompi vaahdotuvuus on odotettavissa. Esimerkiksi magneettikiisun pinnan galvaaninen kosketus aktiivisten

metallien kanssa kiihdyttää rautahydroksidifilmin muodostumista /11/, mikä estää ksantaatin tehokkaan adsorption ja heikentää näin vaahdotuvuutta.

Jauhatusta sisältävässä myllyssä

Normaalisti rautametallin pelkistävä vaikutus heikkenee mineraalipinnalle muodostuvan reaktiotuotekerroksen takia, mutta jauhatuolosuhteissa yhtenäisen kerroksen muodostuminen estyy. Seurauksena on voimakkaasti pelkistävien olosuhteiden säilyminen jauhatuksen aikana. Samalla suspension liete-potentiaali laskee ja sulfidimineraalin hapettuminen hidastuu tai estyy kokonaan. Mitä suurempi on metallisen rauta-faasin suhteellinen pinta-ala sitä enemmän liete-potentiaali laskee. Potentiaalilaskua voidaan ehkäistä ilmastuksella ja nostamalla lietteen pH:ta.

Erityisesti kuivana tapahtuva rautakuulajauhatusta tuottaa pelkistyneitä, heterogeenisiä sulfidipintoja. Tällaisten rakeiden jouduttua valmentimeen tai vaahdotuskennoon voi liete-potentiaali nousta riittävän nopeasti ja korkealle, jotta ksantaatin sähkökemialliselle adsorptiolle on edellytykset. Pintojen hapettuminen ei näissä olosuhteissa etene tarpeeksi pitkälle, jotta ioninvaihtoon perustuva adsorptio toteutuisi laajassa mitassa.

Kun suspensiossa on useita sulfidimineraaleja ja sekarakeita, voi syntyä sähkökemiallisen ja ioninvaihto-adsorption välinen kilpailutilanne. Jos tällöin esimerkiksi aktiivinen lyijyhohte alkaa vaahdotusta jauhatuksen jälkeen pitkäketjuisilla ksantaateilla, on todennäköistä, että myös rikkikiisua alkaa vaahdotusta lyijyhohteen mukana. Kun läsnä on lisäksi metallista rautaa ja ksantaattia, voi

rikkikiisun vaahdotuminen johtua hydrofobisen rikkipeitteen muodostumisesta.

Jauhatusta inertissä myllyssä

Jauhatusta autogeenisessä, keraamisessa tai ruostumattomasta teräksestä valmistetussa myllyssä pyrkii nostamaan suspension liete-potentiaalia, ja hapen läsnäollessa alkavat sulfidimineraalit hapettua. Ei-pelkistävässä olosuhteissa jauhetun sulfidimineraalin vaahdotuvuuden potentiaalialue riippuu läsnä olevista mineraaleista, pH:sta, hapen saatavuudesta jauhatuksessa ja siinä käytetyistä reagensseista. Kun happea on saatavilla, perustuu ksantaattien adsorptio todennäköisimmin ioninvaihtoon hapetus-tuotteiden kanssa. Mikäli hapen saatavuus on jauhatuksen aikana jostain syystä rajoitettu, jolloin hapettumistuotekerros jää epäyhtenäiseksi, voi ksantaatin adsorptio perustua osittain myös sähkökemialliseen reaktioon. Mikäli liete-potentiaali (vs. SHE) on riittävän positiivinen, voi sähkökemiallinen adsorptio tapahtua myös täysin hapettomissa olosuhteissa.

Usean adsorptio-ominaisuksiltaan erilaisen sulfidimineraalin, kuten rikkikiisun ja lyijyhohteen, läsnäollessa päästään inertillä jauhatuksella yleensä parempaan selektiivisyyteen kuin rautamyllyjauhatuksella. Usein myös saanti on parempi autogeenijauhatuksella kuin rautamyllyjauhatuksella /12/. Kun ksantaatin ioninvaihtomekanismiin perustuvalle adsorptiolle lyijyhohteen pinnalle on hyvät edellytykset ja kun ioninvaihtomekanismi on sähkökemiallissa mekanismeissa huomattavasti nopeampi /13/, tapahtuu adsorptio nopeammin lyijyhohteen pinnalle. Toisaalta selektiivisyyttä voi heikentää hapen riittämätön saatavuus jauhatuksessa, jolloin sitä seuraavassa vaiheessa sähkökemiallinen adsorptio rikkikiisun pinnalle lisääntyy.

KIRJALLISUUS – REFERENCES

1. *Kydros, K.A. & Matis, K.A.* Flotation of iron sulfide minerals: electrochemical aspects. In: Matis, K.A. (toim.). Flotation science and engineering. New York 1995. Marcel Dekker, Inc. S. 127–155.
2. *Richardson, P.E.* Surface chemistry of sulfide flotation. In: Vaughan, D.J. & Patrick, R.A.D. (toim.) Mineral surfaces. London 1995, Chapman & Hall. S. 261–302.
3. *Woodcock, J.T. & Jones, M.H.* Oxygen concentrations, redox potentials, xanthate residuals, and other parameters in flotation plant pulps. In: Mineral processing and extractive metallurgy. London 1970, Institution of Mining and Metallurgy. S. 439–468.
4. *Spira, P. & Rosenblom, F.* The oxygen demand of flotation pulps. In: Proceedings of 6th Annual Meeting of the Canadian Mineral Processors. Ottawa, 1974, Noranda Research Centre. S. 74–106.
5. *Khan, S.U.M. & Baltrus, J.P. & Lai, R.W. & Richardson, A.G.* X-ray photoelectron spectroscopy study of the interaction of xanthate with coal pyrite and mineral pyrite surfaces. Applied Surface Science 47 (1991), 4, s. 355–363.
6. *Chander, S.* Electrochemistry of sulfide mineral flotation. Minerals and Metallurgical Processing 5 (1988), s. 104–114.
7. *Buckley, A.N., Hamilton, I.C. & Woods, R.* Investigation of the surface oxidation of sulphide minerals by linear potential sweep voltametry and X-ray photoelectron spectroscopy. In: Forssberg, K.S. Eric (toim.). Developments in Mineral Processing n:6. Flotation of Sulphide Minerals. Amsterdam 1985, Elsevier. S. 234–246.
8. *Buckley, A.N., Hamilton, I.C. & Woods, R.* Studies of the surface oxidation of pyrite and pyrrhotite using X-ray photoelectron spectroscopy and linear potential sweep voltametry. In: Proceedings of the International Symposium on Electrochemistry in Mineral and Metal Processing II. Pennington, NJ 1988, The Electrochemical Society. Volume 88–21, s. 234–246.
9. *Lepetic, V.M.* Flotation of chalcopyrite without collector after dry autogenous grinding. CIM Bulletin (1974) June, s. 71–77.
10. *Rao, S.R. & Moon, K.S. & Leja, J.* Effect of grinding media on the surface reactions and flotation on heavy metal sulphides. In: Fuerstenau, M.C. (toim.). Flotation – A.M. Gaudin memorial volume 1. New York 1976, AIME. S. 509–527.
11. *Adam, K. & Natarajan, K.A. & Riemer, S.C. & Iwasaki, I.* Electrochemical aspects of grinding media-mineral interaction in sulphide ore grinding. Corrosion – Nace 42 (1984), 8, s. 440–447.
12. *Iwasaki, I. & Reid, K.J. & Lex, H.A. & Smith, K.A.* Effect of autogenous and ball mill grinding on sulphide flotation. Mining Engineering 35 (1983) 8, s. 1184–1190.
13. *Kuopanportti, H.* Ksantaattien adsorptionopeus sulfidimineraalien pinnalle. Oulu 1985, Oulun yliopiston prosessiteknikan osasto. Lisensiaattityö. 110 s.

SUMMARY

PRETREATMENT OF SULFIDE ORE IN FLOTATION CONCENTRATION

In the pretreatment stage of sulfide mineral flotation, the electrochemical interactions between fluid and solids and the galvanic couples in a mill, determine the potential of suspension, that is, the pulp potential. The most important properties of the suspension made by the pretreatment are, besides the pulp potential, the degrees of oxidation and of grinding, the concentration of dissolved oxygen and the pH of the fluid.

A strong oxidation of the mineral during the pretreatment can produce in liquid state many of metal cations, which may weaken the selectivity or the recovery. Especially by the pulp potential, the

concentration of dissolved oxygen and the pH can be effected on the xanthate adsorption, and on its velocity, and thereby one can control the selectivity and the recovery of a sulfide mineral. Depending on the mutual magnitudes of these variables, xanthate may be adsorbed quickly based on the ion exchange, or slowly through the electrochemical mechanism on unoxidated surfaces in the absence of oxygen or when the pulp potential is high enough. By proper pretreatment the sulfide surfaces can be made hydrophobic also without the xanthate adsorption, that is, they are naturally hydrophobic.

Hienojen raeluokkien rikastus paineenalennusvaahdotusmenetelmällä

TkL Eine Pöllänen, Oulun yliopisto, Prosessiteknikan osasto, Mekaanisen prosessiteknikan laboratorio, Oulu

JOHDANTO

Pienet rakeet jäävät vaahdotuksessa helposti rikastumatta, sillä mineraalit ovat usein kiderakenteeltaan sellaisia, että rikastuksen edellyttämään puhtaaksijauhaukseen pääsemiseksi ne on jauhettava tavallista vaahdotushienoutta hienommiksi. Tehokasta, taloudellisesti kannattavaa menetelmää vaikeasti vaahdotettavien pienten mineraalirakeiden vaahdottamiseksi teollisessa mitassa ei toistaiseksi ole löydetty. Pienten rakeiden vaahdottamiseen on yleensä vaikutettu lähinnä vaahdotuskemikaalien valinnalla ja prosessijärjestelyillä: kuplan ja partikkelin välisten törmäysten suosiminen (riittävä sekoitus) ja pienten kuplien käyttö parantavat vaahdotustulosta. Vaahdotuksessa tarvittavia dispergoimalla syntyviä kuplia pienempiä kuplia on laboratorio-olosuhteissa yritetty saada aikaan mm. akustisilla värähtelyillä, kemiallisesti hajottamalla H_2O_2 , elektrolyytisesti ja painetta alentamalla. /1/

Paineenalennusvaahdotus perustuu teoriaan, että pienet kuplat vaahdottavat tehokkaasti pieniä rakeita, ja että vaahdotukseen sopivia pieniä kuplia saostuu lietteeseen, kun lietteen paine alennetaan yht'äkkiä. Tätä sovelletaan periaatteessa kahdella tavalla: Vaahdotuksessa käytettävään veteen liuotetaan ilmaa normaalipainetta korkeammassa paineessa, minkä jälkeen vesi lisätään vaahdotettavaan lietteeseen, jolloin liuennut ilma saostuu pieniksi kupliksi turbulenssin ja paineen laskun ansiosta. Toinen tapa on valmentaa vaahdotettava liete normaalipainetta korkeammassa paineessa samanaikaisesti siihen ilmaa liuottaen, minkä jälkeen liete johdetaan normaali-ilmanpaineeseen kennoon, jossa liuennut ilma saostuu. Koko liete- tai vesimäärän paineistamisen sijasta voidaan paineistaa vain osa siitä. Kun liete valmennetaan normaali-ilmanpaineessa ja vaahdotetaan alipaineessa, kyseessä on vakuuminvaahdotus. Tavanomaisen vaahdotuskennon ja mekaanisen sekoituksen sijasta prosessissa voidaan käyttää sekoittimetonta kennoa /2/, kolonnia /3/ tai pneumaattista kennoa /4/.

Paineenalennusvaahdotusta on käytetty yleisesti jäte- ja talousveden käsittelyssä, jossa käsiteltävä kiintoaine on usein kolloidikokoista. Myös hiiltä on puhdistettu tällä menetelmällä, mutta mineraalien rikastuksen teollisia sovellutuksia ei tietyvästi ole käytössä. Laboratoriotutkimuksissa on yleensä paineistettu vaahdotuksessa käytettyä vettä ja vaahdotuksen lieteiheys on ollut hyvin pieni.

PAINEEN ALENTAMISEN MERKITYS VAAHDOTUKSESSA

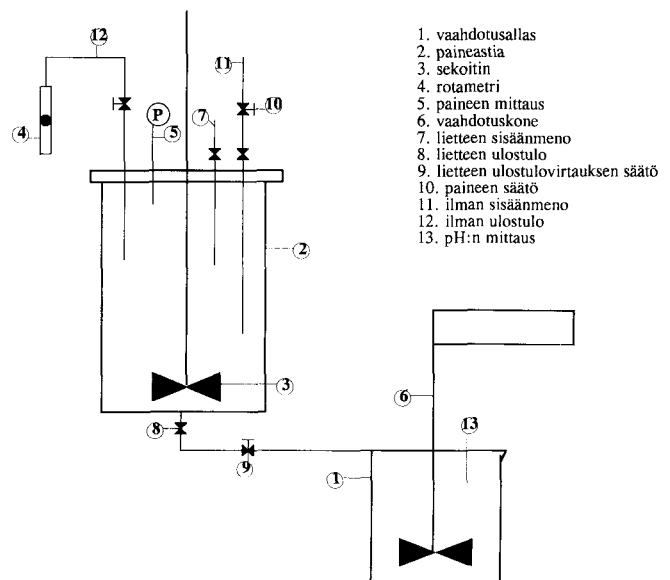
Paineen nopean alentamisen edullisuudesta vaahdotuksessa on olemassa kaksi näkökantaa: Toisen teorian mukaan partikkelien pinnalle saostuvat kuplat kasvavat liian hitaasti kyetäkseen nostamaan partikkelit lietteen pinnalle, joten turbulenssin lietteeseen synnyttämät kupla-alkiot ovat tehokkaampia kuin kiintoainepinnalle saostuneet. Koska syntyneillä kuplilla on taipumus törmätä toisiinsa ja yhdistyä suuremmiksi, täytyy kuplat kuitenkin synnyttää mahdollisimman lähellä vaahdotettavia partikkeleita, jotta kuplan ja partikkelin muodostaman aggregaatin syntyminen olisi mahdollista. /5,6/ Toisen teorian mukaan taas partikkelin pinnalle saostuvat pienet kuplat lyhentävät aikaa, joka tarvitaan vaahdottamisen mahdollistavan kontaktin syntymiseksi suuren kuplan ja mineraalipartikkelin välille, ja siten kuplien saostuminen edistää vaahdotusta. Tämä johtuu siitä, että vaikka mineraalipintaan saostuva kupla on niin pieni, ettei se jaksakaan nostaa partikkelia pintaan, se törmää helposti suurempaan,

vaahdotuskykyiseen kuplaan, joihin pienet rakeet eivät vähäisen massansa takia tavallisesti törmää vaan liukuvat niiden ohi veden virtausviivoja pitkin. Ja koska vastasaostuneen pienen kuplan pinta on uusi ja lujittumaton, se yhdistyy helposti kuplaan, johon se on törmännyt. Lisäksi pienen kuplaston suuri ominaispinta-ala lisää partikkelien tarttumismahdollisuuksia ja siten edistää vaahdotusta. /7,8/

PAINEENALENNUSVAAHDOTUS LABORATORIOSSA

Oulun yliopiston Prosessiteknikan osaston Mekaanisen prosessiteknikan laboratoriossa tehdyssä tutkimuksessa vaahdotettiin kuparimalmia paineenalennusvaahdotusmenetelmällä, ja saatuja tuloksia verrattiin vastaavaan tavanomaiseen vaahdotukseen. Tutkimuksen tavoitteena oli selvittää, saavutetaanko hienojen raeluokkien rikastamisessa erityistä etua rikasteen hienouden tai rikastustuloksen suhteen, jos siirrytään tavanomaisesta vaahdotusmenetelmästä paineenalennusvaahdotusmenetelmään. Paineenalennusvaahdotus toteutettiin ilman saostamisen ja dispergoinnin yhdistelmänä siten, että lietteeseen liuotettiin ilmaa ylipaineessa ja saostettiin se alentamalla paine nopeasti, minkä jälkeen liete vaahdotettiin tavanomaisesti. Tuloksista tarkasteltiin vaahdotussyötteen ja saatujen tuotteiden hienoutta, rikasteen kuparipitoisuutta, kuparin saantia rikasteeseen ja ilman saostumista paineenalennuksessa. Saatua tuloksia ei voitu vertailla muihin vastaaviin tutkimuksiin, koska tässä käytettyä menetelmää on tietyvästi sovellettu vain hiilen vaahdotukseen /9/.

Koemateriaalina käytettiin Pyhäsalmen kuparimalmia, jonka rae-koko vaahdotuksen syötteessä oli keskimäärin $x_{50\%} = 10,45 \mu\text{m}$. Kuvassa 1. on esitetty käytetyn koelaitteiston kaaviokuva.



Kuva 1. Kaaviokuva paineenalennusvaahdotuksessa käytetystä koelaitteistosta.

Fig. 1. Schematic diagram of experimental set-up for dissolved air flotation.

TULOKSET

Raekoko

Käytetty vaahdotusmenetelmä ei vaikuta tuotteiden hienouteen, vaan ainoa vaahdotuskokeissa saatujen tuotteiden hienouteen todella vaikuttava tekijä on käytetyn syötteen hienous: tuotteiden hienous seuraa syötteen hienoutta. Jätteeseen kertyvien rakeiden kokojakauma on karkeampi kuin rikasteeseen kertyvien rakeiden vaahdotusmenetelmästä riippumatta. Karkeimmat rikasterakeet vaahdotuvat ensimmäiseksi ja vaahdotuksen jatkuessa rikaste tulee hienommaksi. Paineenalennusvaahdotuksessa ensimmäiseksi rikastuu karkeampia rakeita kuin tavanomaisessa vaahdotuksessa, mutta vaahdotuksen edetessä ero häviää.

Ennako-odotusten vastaisesti lietetiheyden alentaminen hidastaa hienojen rakeiden rikastumista, sillä pienemmässä lietetiheydessä saadaan karkeampi rikaste kummallakin vaahdotusmenetelmällä kuin suuremmassa. Lietetiheyden ollessa n. 30 %, saadaan hienempi rikaste- ja karkeampi jätejäte tavanomaisessa vaahdotuksessa verrattuna paineenalennusvaahdotukseen, mutta keskimääräinen ero menetelmien välillä ei ole merkittävä. Lietetiheyden ollessa <15 % käytetty vaahdotusmenetelmä ei vaikuta lainkaan tuotteiden hienouteen.

Pitoisuus ja saanti

Suurin osa materiaalista vaahdotuu ensimmäisen minuutin aikana. Tavanomaisessa vaahdotuksessa materiaali vaahdotuu kolmessa minuutissa, kun taas paineenalennusvaahdotuksessa vaahdotuminen on hitaampaa, joten sitä on jatkettava pitempään, jotta päästään yhtä hyvään saantiin kuin tavanomaisessa vaahdotuksessa. Keskimääräiseen rikasteen kuparipitoisuuteen tai kuparin saantiin rikasteeseen toisiinsa verrattavissa rinnakkaiskokeissa vaahdotusmenetelmällä ei ole vaikutusta. Hyvin hienosta syöttestä voidaan rikastaa yksivaiheisessa prosessissa yli 90 % kuparista, rikasteen pitoisuuden ollessa rutiinikokeessa 4 -7 %, jos käytetään paineenalennusvaahdotusta, ja 4-6 %, jos käytetään tavanomaista vaahdotusta. Tulos

on kohtalaisen hyvä, jos otetaan huomioon se, kuinka suuria ongelmia näin hienon syötemateriaalin rikastaminen yleensä aiheuttaa, mutta toisaalta teorian /10/ mukaan hienojen raeluokkien rikastaminen erikseen, niin kuin tässä on tehty, tuottaa varsin hyvän rikastustuloksen verrattuna niiden rikastamiseen yhdessä karkeampien jakeiden kanssa. Lietetiheyden alentaminen huonontaa vaahdotustulosta.

Sekoitus

Sekoituksen voimakkuus vaikuttaa erityisen merkittävästi hienojen raeluokkien vaahdotustulokseen. Käytettävän sekoituksen voimakkuuden valinta on vaikeaa, sillä tutkijat esittävät keskenään ristiriitaisia teorioita sekoituksesta pieniä kuplia käytettäessä /8, 11, 12, 13/. Tässä tutkimuksessa paineenalennusvaahdotuksen sekoituksen voimakkuuden lisääminen parantaa vaahdotustulosta, kunnes rikaste-vaahdotuksen voimasta rikkoontuu ja vaahdotustulos heikkenee. Voimakas sekoitus yhdessä suuren vaahdotusilmavirtauksen kanssa myös parantaa vaahdotustulosta. Tavanomaiseen vaahdotukseen verrattuna paineenalennusvaahdotus vaatii voimakkaamman sekoituksen ja enemmän vaahdotusilmaa.

Ilman saostuminen kuplina

Lietteestä saostuu ilmaa keskimäärin 40 ml/l, kun paine alennetaan 4,5 baarista normaali-ilmanpaineeseen 1½ minuutissa. Saostuneen ilman määrä ei vaikuta rikastuksessa saavutettuun saantiin, joten sen oletetaan toimivan lähinnä kokoojan tai säännöstelijän tehostajana. Ilmaa saostuu enemmän lietteestä, jonka lietetiheys on pieni, kuin puhtaasta vedestä tai lietteestä, jonka lietetiheys on suuri eli ilman saostumisen suhteen lietteellä on optimiteheys, joka on pienempi kuin normaali vaahdotuslietetiheys. Saostuneen ilman määrän kannalta on erityisesti merkitystä sillä, minkälainen on lietevirtauksen ulostulo-kohta ja miten pitkä on sen ja paineenalennuskohdan välimatka. Ilmaa saostuu vedestä sitä vähemmän, mitä lyhyempi matka on paineenalennus- tai muusta kuristuskohdasta ulostuloon. Eniten ilmaa kuitenkin saostuu, kun ulostulo on suoraan paineenalennusventtiilissä, jolloin turbulenssi on voimakkain.

KIRJALLISUUS - REFERENCES

1. *Matis, K.A.* (ed) Flotation Science and Engineering. New York 1995. Marcel Dekker, Inc. 558 s.
2. *Alizadeh, A. & Simons, W.* Flotation of finest and ultrafinest size coal particles. *Aufbereitungstechnik* 26(1985)6, s.363-366.
3. *Coleman, R.L.* Metallurgical testing procedures. In: Mular, A. & Bhappu, R.B. Mineral processing plant design. New York 1980, AIME. S. 144-182.
4. *Jungmann, A. & Reilard, U.A.* Untersuchungen zur pneumatischen Flotation verschiedener Roh- und Abfallstoffe mit dem Allflot-System. *Aufbereitungstechnik* 29(1988)8, s. 470-477.
5. *Kitchner, J.A. & Gochin, R.J.* The mechanism of dissolved air flotation for potable water: basic analysis and proposal. *Water research* 15(1981), s. 585-590.
6. *Lundgren, H.* Theory and practice of dissolved air flotation. *Filtration and Separation* 13(1976), s. 24-28
7. *Klassen, V.I.* Theoretical basis of flotation by gas precipitation. 5th International Mineral Processing Congress. Lontoo 1960. S. 390-322.
8. *Klassen, V.I. & Mokrousov, V.A.* An introduction to the theory of flotation. Lontoo 1963, Butterworths. 493 s.
9. *Breuer, H. & Jungmann, A.* Die Sortierung ultrafeinster Steinkohlen in Dünntriben durch pneumatische Flotation. *Aufbereitungstechnik* 29(1988)6, s. 375-381.
10. *Somasundaran, P.* Principles of flocculation, dispersion and selective flocculation. Fine Particle Processing, Proceedings of International Symposium of AIME, Vol. 1. New York 1980. AIME. S. 947-976.
11. *Takashi, T., Miyahara, T. & Mochizuki, H.* Fundamental study of bubble formation in dissolved air pressure flotation. *Journal of Chemical Engineering of Japan* 12(1979)4, s. 275-280.
12. *Yoon, R-H.* Hydrodynamische und Oberflächenkräfte bei der Blase-Korn-Wechselwirkung. *Aufbereitungstechnik* 32(1991)9, s. 474-485.
13. *Ahmed, N. & Jameson, G.J.* The effect of bubble size on the rate of flotation of fine particles. *International Journal of Mineral Processing* 14(1985), s.195-215.

SUMMARY

DISSOLVED AIR FLOTATION OF FINE PARTICLES

Small bubbles achieved by precipitation of dissolved air during a sudden pressure release are assumed to favor the flotation of fine particles. In the Mechanical Process Engineering Laboratory of University of Oulu was researched of the flotation of fine copper ore, average feed size $x_{50\%} = 10,54 \mu\text{m}$, by exploiting gas precipitation: conditioning of the sludge under higher pressure was followed by flotation at atmospheric pressure. Recovery, grade and particle size of the copper concentrate were compared with the experimental results obtained in a common dispersed air flotation.

Neither the dissolved air flotation method nor the lower solids content in the sludge improve the concentration of smaller particles. The average grade or recovery are not influenced by the flotation process or by lower solids content but it is possible to get better grade with the same recovery by dissolved air flotation than by dispersed air flotation. Gas precipitation in pressure release doesn't affect the recovery in dissolved air flotation, but it is assumed to have an effect on the chemical reactions between a particle and a collector or depressant and thereby on the grade of the concentrate.

Kaivosten kalliomekaaniseen mitoitukseen soveltuvia menetelmiä

DI Pauli Syrjänen, DI Harri Kuula, TkT Juha Antikainen, Teknillinen korkeakoulu, Kalliotekniikan laboratorio, Otaniemi

JOHDANTO

Kalliomekaanisten tekijöiden riittävä huomioiminen kaivossuunnittelussa on oleellista erityisesti silloin, kun kalliomekaaniset olosuhteet ovat poikkeukselliset. Riittämättömän suunnittelun aiheuttamien virheiden korjaaminen myöhemmin on sekä kallista että tuotantoa häiritsevää.

Kalliomekaaninen mitoitus tehdään usein pelkästään suunnittelijan omaan kokemukseen perustuen. Hyvin tunnetuissa olosuhteissa kokemuksen avulla saavutetaan yleensä toimiva, joskin harvoin optimaalinen ratkaisu. Olosuhteiden muuttuessa voi pelkän kokemuksen perusteella olla vaikea löytää hyväksyttävää ratkaisua ilman kallista yritys ja erehdys -ketjua. Kaivoksissa olosuhteet muuttuvat koko ajan louhinnan edetessä, joten louhinta- ja lujitusmenetelmien muutoksiin varautuminen on niissä erityisen tärkeää.

Tässä artikkelissa esitellään lyhyesti eräitä kaivoksille soveltuvia, kansainvälisesti yleisesti hyväksytyjä kalliomekaanisia suunnittelu- ja lujitusmenetelmiä.

KALLIOMEKAANINEN SUUNNITTELU

Kalliomekaaninen suunnittelu aloitetaan määrittelemällä kalliomasan lujuus- ja muodonmuutosominaisuudet eri tutkimusten avulla. Kalliomasan sekä malmin muiden ominaisuuksien (kaade, paksuus ym.) mukaan valitaan kohteeseen sopivat vaihtoehdot louhintamenetelmät. Menetelmävaihtoehtojen teknistaloudellisen tarkastelun jälkeen valitaan edullisin louhintamenetelmä. Kalliomekaaniseen suunnitteluun kuuluu louhintavaihtoehtojen kalliomekaaninen mitoitus. Pienissä kohteissa, hyvässä kalliolaadussa tai alustavassa suunnittelussa käytetään empiirisiä suunnittelumenetelmiä. Conceptual study- ja pre-feasibility study-vaiheissa voidaan arvioida empiiristen menetelmien avulla, mitkä louhintamenetelmät voivat yleensä tulla kysymykseen. Kaivoshankkeen edetessä ja kalliomekaanisen tiedon kertyessä tehdään yhä tarkempaa analyttistä ja erityisesti numeerista mitoitusta tarpeen mukaan.

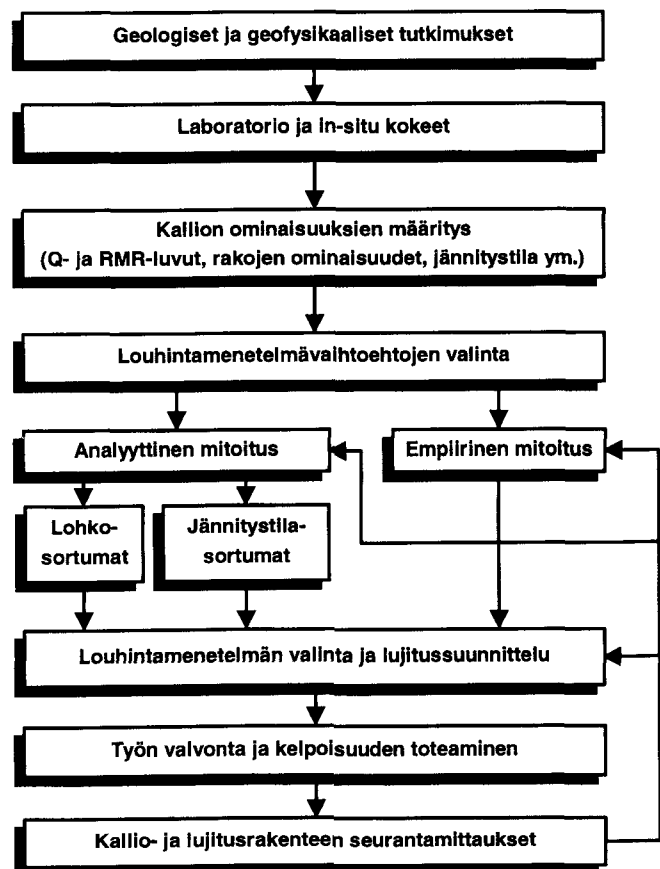
Analyttiset menetelmät jakautuvat kalliolohkojen stabiliteetin ja kallon jännitystilän aiheuttamien vaurioiden tarkasteluun. Painovoiman vaikutus kalliolohkojen pysyvyyteen jakautuu seuraaviin vaiheisiin:

- mahdollisesti sortuvien kalliolohkojen määrittäminen
- mahdollisten liukupintojen leikkauslujuuden määrittäminen
- kalliolohkojen tukemiseen vaadittavan lujituksen mitoitus

Kallon jännitystilän aiheuttaman, painovoiman avustaman sortuman määrittely jakautuu seuraaviin vaiheisiin:

- kallon in-situ jännitystilän määrittäminen
- kalliomasan lujuusominaisuuksien määrittäminen
- louhitun tilan ympärille muodostuvan vauriovyöhykkeen määrittäminen
- vaurioituneen vyöhykkeen tukemiseen vaadittavan lujituksen mitoitus

Empiirisiä menetelmiä käytetään analyttisten rinnalla eräänlaisena varmistuskeinona. Jos empiiriset ja analyttiset menetelmät antavat kovin erilaisia tuloksia on syytä tarkistaa tehdyt laskelmat.



Kuva 1. Kaivoksen kalliomekaaninen suunnittelu.
Fig. 1. Rock mechanical design of a mine.

Elementtimenetelmiä käytettäessä voidaan ensimmäiset laskennat tehdä käyttäen empiirisiä lujitussuosituksia. Lujituksia kevennetään asteittain kunnes vaurio tapahtuu. Mitoituksessa on huomioitava myös räjäytystöiden, kallioräiskeen ja maanjäristysten vaikutus lujituksiin.

Lopullinen louhintamenetelmä ja lujitus suunnitellaan huomioiden tehdyt teknis-taloudelliset tarkastelut sekä työvoiman, laitteiden ja tarvikkeiden saatavuus sekä kustannukset. Louhinnassa ja lujitusten asennuksessa on tehtävä riittävää laadunvalvontaa ja kelpoisuuden toteamista. Toteutuneiden louhosten ja tunnelien käyttäytymistä on seurattava sopivien menetelmin. Seurannasta saadaan arvokasta tietoa käytettäväksi myöhempien louhintavaiheiden suunnittelussa.

Oleellista on systemaattinen etenemistapa, yksinkertaisista malleista monimutkaisempiin, sovittaen tutkimusten ja laskelmien laajuus ja yksityiskohtaisuus kaivoksen elinkaaren määräämien tarpei-

den mukaisesti. Tärkeää on myös huomioida oikeat tekijät. Louhoksen poikkileikkauksen muoto on eräs tärkeä kysymys. Jos jännitysongelmat eivät ole suuret on muoto suunniteltava rakoilun ja ruhjeiden mukaan. Kauniista holvikaaresta ei ole iloa, jos kalliossa on voimakas vaarakoilu ja kattokontaktissa on ruhje.

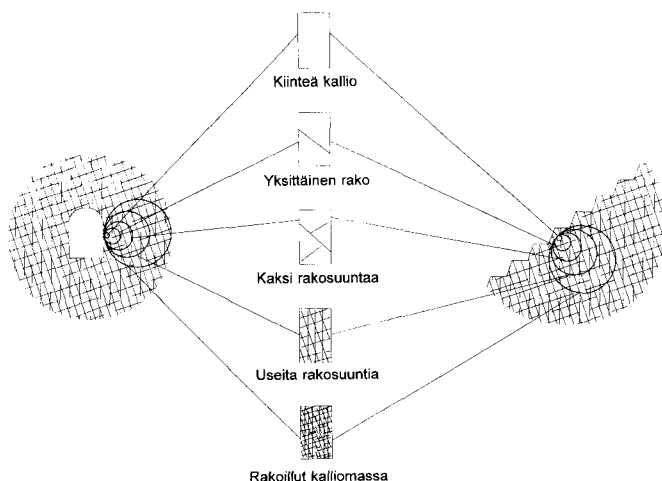
Todennäköisyyslaskennan avulla voidaan optimoida kallio-mekaanista suunnittelua. Esimerkkinä todennäköisyyslaskennan käytöstä on Hoekin (1989) esittämä PILLAR-ohjelmisto, joka laskee vaakapilareiden sortumatodennäköisyyksiä perustuen Hoek-Brown murtokriteerini ja Monte Carlo tekniikkaan. Todennäköisyyslaskentaa kalliomekaanikassa on käsitelty mm. kirjallisuuskäytössä Hoek ja muut (1995).

On selvää, että yksittäisten kaivosten ei ole kannattavaa tehdä monimutkaisia analyttisiä mitoituksia vaativilla numeerisilla menetelmillä. Kaivosten tasolla on luontevaa seurata kallion laatua säännöllisillä kalliomekaanisilla kartoituksilla ja kallioluokituksilla sekä käyttää empiirisiä ja yksinkertaisia analyttisiä suunnittelumenetelmiä. Vaativampia mitoituksia varten on syytä käyttää joko kaivosyhtiön omaa insinööritoimistoa tai konsulttia. Ihanteellisessa tilanteessa kaivoksella on käytössään kaivoksen olosuhteisiin perehtynyt asiantuntija.

TUTKIMUKSET

Sopivat tutkimusmenetelmät riippuvat käytettävistä suunnittelumenetelmistä ja suunnittelun laajuudesta. Kaivosteollisuudessa geologisten tutkimusten pääpaino on luonnollisesti malmin pitoisuuden ja muodon määrittämisessä. Geologisista tutkimuskairauksista voidaan määrittää myös kalliomekaanista tietoa. Kairasydännäytteistä tulisi määrittää ainakin Q- ja RMR-kallioluokitusten vaatima informaatio. Myös kallioalajastumissa ja jo louhituissa tiloissa tulisi tehdä kalliomekaaninen kartoitus. Syvissä kaivoksissa tai jos jännitystilän arvellaan olevan korkea on syytä tehdä myös jännitystilamittauksia.

Geologisten ja geofysikaalisten tutkimusten lisäksi on syytä selvittää laboratoriokokeilla kairasydännäytteen yksiakselinen puristusmurtolujuus, kimmokerroin ja Poissonin luku. Varsinaiset mitoitusparametrit määritetään kolmiakseli- ja rasialeikkauksilla. Laboratoriokokeiden tuloksia tulkittaessa on aina huomioitava mittakaavatekijä (kuva 2). Mittakaavan kasvaessa muuttuu kalliomassan luonne ja myös lujuusominaisuudet.



Kuva 2. Mittakaavan vaikutus kalliomassaan (Hoek ja muut 1995).
Fig. 2. Scale effect at rock mass (Hoek et al 1995).

Kalliomassan lujuuden selvittäminen kokeellisesti on hankalaa, kallista ja usein käytännössä mahdotonta. Tämän vuoksi kallion ominaisuuksien määrittämiseksi käytetään empiirisiä menetelmiä, ns. kallioluokitusmenetelmiä. Toinen tärkeä syy käyttää kallioluokituksia on se, että ne ovat yhteinen kieli kalliomekaanikkojen välillä.

Kalliomekaanisessa suunnittelussa kannattaa käyttää kansainvälisesti yleisessä käytössä olevia luokitusmenetelmiä. Suositeltavaa on

käyttää sekä Q- että RMR-menetelmiä. Viimeisin Q-luokituksen versio on käsitelty kirjallisuuskäytössä Grimstad ja Barton (1993) sekä Barton ja Grimstad (1994) ja viimeisin RMR-luokitus kirjallisuuskäytössä Bieniawski (1989). Molempien menetelmien viimeisimmät versiot on käsitelty suomenkielillä kirjallisuuskäytössä Syrjänen (1993). Tätä kirjoitettaessa on käynnissä Helsingin kaupungin teettämänä tekn. yo. Wegeliuksen diplomityö, joka käsittelee kallio-laadun määritysohjeita.

Kehtyneimmissä kallioluokituksissa kallion laatu määräytyy useamman tekijän perusteella, jotka kuvaavat kallion erilaisia teknisiä ominaisuuksia. Esimerkkinä on Bartonin, Lienin ja Lunden 1974 esittämä sekä Grimstadin ja Bartonin 1993 päivittämä Q-luokitus. Kallion laatua kuvaava Q-luku lasketaan kaavalla:

$$Q = \frac{RQD}{J_n} \times \frac{J_r}{J_a} \times \frac{J_w}{SRF} \quad (1)$$

jossa RQD = rakoilua kuvaava RQD-luku
 J_n = rakosuuntien lukumäärää kuvaava luku
 J_r = rakopintojen kärkeutta kuvaava luku
 J_a = rakopintojen rapautuneisuutta, täytettä ja avautuneisuutta kuvaava luku
 J_w = pohjaveden vaikutusta (painetta) kuvaava luku
 SRF = kallion jännitystilän vaikutusta kuvaava luku

Kalliolaatuun vaikuttavat seuraavat tekijät:

Suhde RQD/ J_n kuvaa kalliolohkojen kokoa. Suurin lohko voi olla useita kertoja ja pienin suunnilleen puolet luvusta (RQD/ J_n) cm.

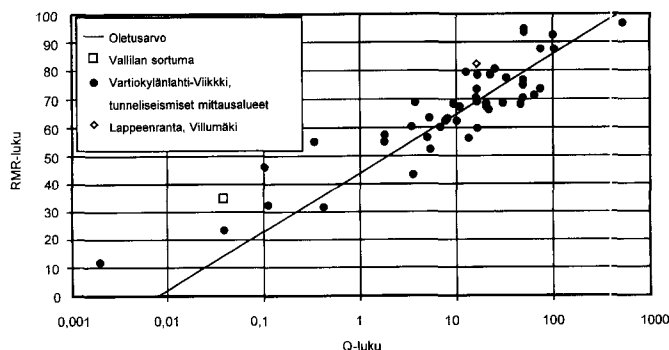
Suhde J_r/J_a kuvaa kalliolohkojen välistä kitkavoimaa, leikkauslujuus = $\tan^{-1}(J_r/J_a) \times \sigma_n$

Suhde J_w/SRF kuvaa kalliossa vaikuttavien jännityksiä.

Koska eri tyyppisillä kallioilla voi olla sama Q-luku, on luokitusta käytettäessä tärkeää ilmoittaa myös mistä parametreistä Q-luku on laskettu.

Kahden erilaisen luokitusjärjestelmän käyttäminen samanaikaisesti vähentää virhemahdollisuutta. Q- ja RMR-luokituksia voi vertailla toisiinsa esimerkiksi Bienawskin esittämällä kaavalla:

$$RMR = 9 \ln Q + 44 \quad (2)$$



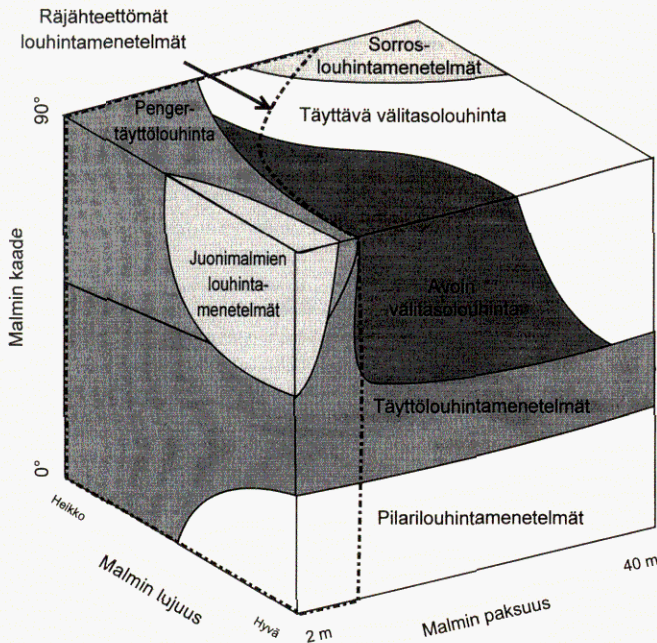
Kuva 3. RMR- ja Q-luvun välinen yhteys suomalaisten tutkimusten mukaan (Syrjänen 1993).

Fig. 3. Correlation between the RMR- and the Q-index according to Finnish investigations (Syrjänen 1993).

KALLIOLAADUN VAIKUTUS LOUHINTAMENETELMÄÄN

Louhintamenetelmän valintaan vaikuttavat pääasiassa malmin paksuus (muoto) ja kaltevuus sekä kallion laatu (kuva 4).

Louhintamenetelmien valintaan on kehitetty useita menetelmiä, joissa kaikissa huomioidaan kalliolaatu. Boshkovin ja Wrightin (1973) menetelmässä joka perustuu kirjallisuuskäytössä Peele (1941), malmin sekä sivukiven kestävyyttä kuvataan yleisillä termeillä kova ja heikko. Lisäksi luokituksessa huomioidaan malmin tyyppi (massiivinen, juoni jne.) ja kaade. Hartmanin 1987 esittämässä menetelmässä on kolme termiä kallion kestävyydelle mutta siinä ei erotella



Kuva 4. Tärkeimmät louhintamenetelmän valintaan vaikuttavat tekijät ja niiden vaikutus eri menetelmillä (Liimatainen 1995).
Fig. 4. Most important factors at mine method selection and their relationship on different methods (Liimatainen 1995).

malmia ja sivukiveä. Morrison on 1976 esittänyt luokituksen, jossa louhintamenetelmät jaetaan kalliolaadun mukaan kolmeen osaan; 1. kiinteäpilariset menetelmät; 2. kontrolloidun vajoamisen menetelmät ja 3. sorrosmenetelmät.

Kaikkia edellämaituissa louhintamenetelmien luokituksissa kalliolaadusta puhutaan yleisillä termeillä kuten 'hyvä' tai 'heikko' eikä näitä termejä määritellä tarkemmin. Nicholas on 1981 esittänyt menetelmän, jossa kalliolaatu määritetään menetelmään kuuluvalla kallioluokituksella erikseen sekä malmille että katto- ja jalkapuolelle. Nicholasin kallioluokitus perustuu kolmeen tekijään; 1. kivilajin lujuuden suhde pystysuoraan jännitykseen; 2. RQD-lukuun tai rako-lukuun (kpl/m); 3. arvioon rakojen leikkauslujuudesta. Nicholasin menetelmässä louhintamenetelmille annetaan pisteytykset sen mukaan miten ne sopivat kolmeen kalliolaatua kuvaavaan tekijään sekä malmin muotoa, paksuutta, kaltevuutta ja pitoisuuden vaihtelua kuvaaviin tekijöihin. Kaksi tai kolme eniten pisteitä saanutta menetelmää tarkastellaan tarkemmin lopullisen louhintamenetelmän valitsemiseksi.

de Souza ja Archibaldin (1987) esittämässä ehdotuksessa louhintamenetelmän valinnaksi käytetään kalliolaadun arvioinnissa Q-luokitusta. Kalliolaatu määritetään erikseen sekä malmille että katto- ja jalkapuolelle. Muita valintakriteereitä ovat malmin geometria (muoto, paksuus ja kaade) ja louhinnan yksikkökustannukset. Menetelmä on kolmivaiheinen; ensin valitaan malmin geometrian perusteella sopivat louhintamenetelmät; toisessa vaiheessa malmin geometrian perusteella valituista menetelmistä valitaan kalliomekaanisten olosuhteiden mukaan sopivat vaihtoehdot; viimeisessä vaiheessa jäljellä olevista vaihtoehdoista valitaan yksikköhinnoltaan halvin (kuva 5).

de Souza ja Archibaldin menetelmässä ei ole käsitelty kaikkia mahdollisia louhintamenetelmiä, joten se ei sovellu erikoistapauksiin (esim. juonimalmit). Se ei myöskään huomioi jännepunospultein tuetun välitasolouhinta menetelmän käyttöä. Kuvassa 5 esitetyt kalliomekaaniset rajat ovat tarkoitettuja tukemattomille louhoksille ja raja on aika konservatiivinen.

Edellämaitut louhintamenetelmän valintamenetelmät soveltuvat lähinnä pre-feasibility tasoiseen suunnitteluun. Tarkemmassa suunnittelussa on louhintamenetelmä valittava yksityiskohtaisemalla tarkastelulla.

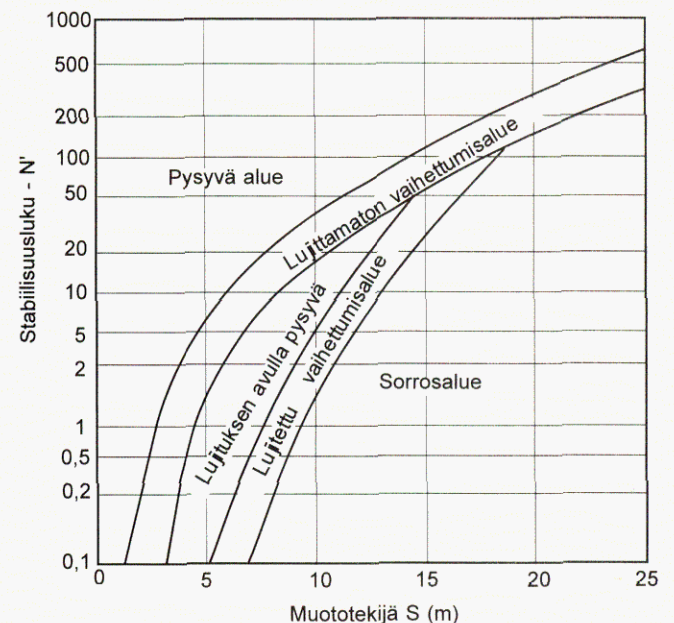
Potvinin 1988 esittämä ja Potvinin ja Milnen 1992 sekä Nicksonin 1992 modifoima, Mathewin ja muiden 1981 esittämään menetelmään perustuva Stability Graph menetelmä on suunniteltu valintaan

	Lohko-sorros	Avoin välitaso	Levy-sorros	Pilari	Maka-siini	Cut and fill
1. Vaihe: Malmin geometria						
Massiivinen						
Levyäinen						
Epäsäänn.						
Paksuus 10 m						
Paksuus 30 m						
Paksuus 100 m						
Kaade <20°						
Kaade 20..50°						
Kaade >50°						
2. Vaihe: Kalliolaatu Q-luokituksen mukaan						
	K	M	J	K	M	J
Poik. heikko						
Eritt. heikko						
Varsin heikko						
Heikko						
Kohtalainen						
Hyvä						
Varsin hyvä						
Erittäin hyvä						
Poik. hyvä						
3. Vaihe: Louhinnan yksikkökustannukset						
Pienet						
Suuret						

Kuva 5. de Souza ja Archibaldin (1987) ehdotus alustavaksi louhintamenetelmän valinnaksi. K on kattopuoli, M on malmi ja J on jalkapuoli.

Fig. 5. A proposed procedure for preliminary mine method selection by de Souza and Archibald (1987). K is hanging wall, M is orebody and J is footwall.

lohkosorroslohosten, tuettujen lohosten ja tukemattomien lohosten välillä (kts. kuva 6). Menetelmä on yksityiskohtaisempi kuin edellä



Kuva 6. Louhoksen pysyvyyden arviointi Stability Graph menetelmällä (Nickson 1992).

Fig. 6. Stability graph showing zones of stable ground, caving ground and ground requiring support (Nickson 1992).

Partek Industrial Minerals' strong position as a supplier of industrial minerals is based on large mineral resources, extensive research and continuous product development. The main products are micronized calcite, wollastonite, quartz, feldspar and imported minerals. The key consumers of the products are the paper, glass, ceramics, plastics and foundry industries. Quartz is also used in building materials. Bentonite is an environmental product. Partek Industrial Minerals is the largest Finnish manufacturer of paper pigments.

Partek Industrial Minerals exports a variety of mineral products to Europe and East Asia. The high quality of our industrial minerals is based on the ISO 9001 and ISO 9002 standards, followed strictly throughout the production process.



Minerals

Partek Industrial Minerals Ltd.
FIN-53500 LAPPEENRANTA,
Finland
Tel. +358-(9)53-671 71
Fax +358-(9)53-671 7650



Nordkalk is the Nordic countries' biggest lime producer, with limestone quarries and mines in Finland and Sweden. The limestone is processed by several different methods into products for processing, agriculture and environmental conservation in the Nordic countries. The products are used in a wide variety of applications from the pulp and paper, metallurgical and chemicals industries to flue gas cleaning and liming of acidified lakes. The construction industry uses lime in soil stabilization. Nordkalk also produces raw material for PCC, a coating pigment in paper production. Nordkalk invests in the continuous upgrading of the technology for handling and processing raw materials, and in logistics and quality systems. Our quality work is based on the international standard ISO 9002.



in Partek.

NORDKALK OY AB
FIN-21600 PARGAS, Finland
Tel. +358-(9)21-742 61
Fax +358-(9)21-742 6038



NORDKALK
a Partek Company

NORDKALK KALCIUM AB
Lundavägen 151
S-212 24 MALMÖ, Sweden
Tel. +46-(0)40-438 900
Fax +46-(0)40-436 905

käsitelty ja soveltuu tarkempaan suunnitteluun. Mathewin menetelmää ovat päivittäneet myös Stewart ja Forsyth (kts. Stewart ja Forsyth 1995).

Stability Graph menetelmä perustuu louhosten muototekijään S (shape factor, hydraulic radius) eli tutkittavan pinnan (esim. louhoksen kattopuolen) pinta-alaan jaettuna ympärysmittalla ja Q-luokituksesta kehitettyyn menetelmään, jolla määritetään stabiilisuusluku N' (Potvin ja Milne 1992):

$$N' = Q' \times A \times B \times C \quad (3)$$

jossa $Q' = (RQD/J_n) \times (J_r/J_a)$

A = jännitystilakerroin, $(0,1 \leq A \leq 1,0)$

B = rakosuuntakerroin, $(0,2 \leq B \leq 1,0)$,

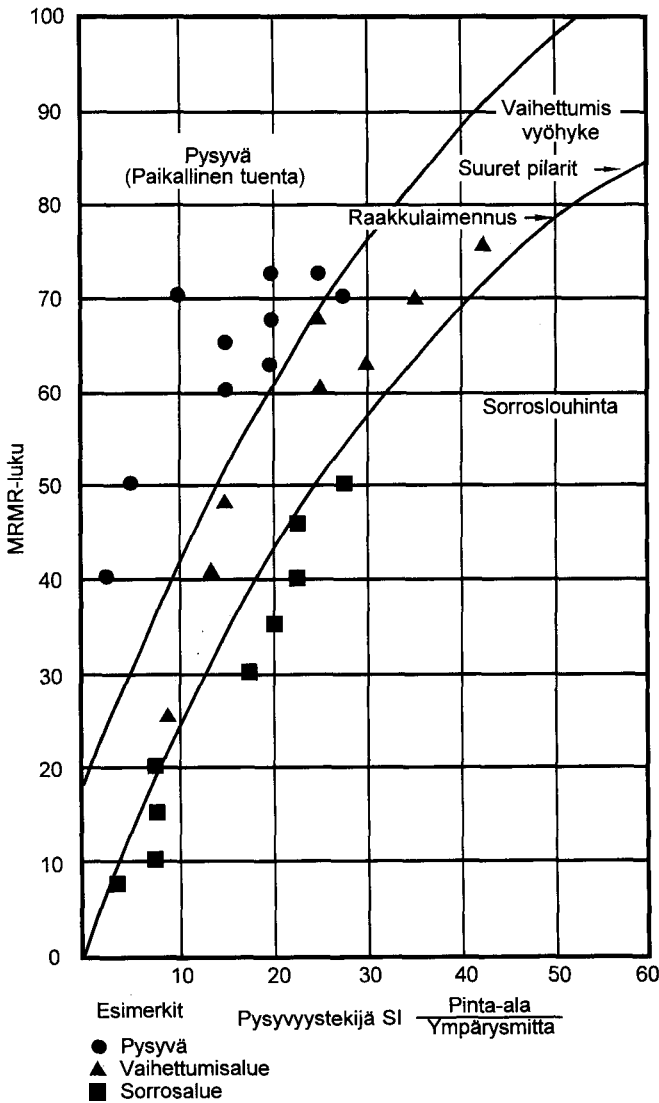
C = painovoiman vaikutuskerroin, $(2 \leq C \leq 8)$

Periaatteeltaan samanlainen menetelmä on Laubscherin 1981 esittämä ja 1990 korjaama menetelmä. Menetelmä perustuu Laubscherin RMR-luokituksesta kehittämään MRMR-kallioluokitusmenetelmään ja louhosten muototekijään tai, kuten Lauscher sanoo, pysyvyystekijään SI (stability index, hydraulic radius) (kuva 7).

Kaivosten louhintamenetelmän valintaa on käsitelty mm. Nicholas (1992).

SUUNNITTELUMENETELMÄT

Kalliomekaaniset suunnittelumenetelmät jaetaan tässä analyyttisiin ja empiirisiin menetelmiin. Empiiristen ja analyyttisten menetelmien



Kuva 7. Stabiileittikaavio (Laubscher 1990).
Fig. 7. Stability/instability diagram (Laubscher 1990).

erona on se, että analyyttisessä menetelmässä käytetään tunnettuihin luonnonlakeihin nojautuvia teorioita kun empiirisissä menetelmissä käytännössä havaittuja tai mitattuja tietoja käytetään ilman, että välttämättä ymmärretään miksi näin tapahtuu. Periaatteessa analyyttinen menetelmä on "elegantimpi", mutta tietomme kalliorakenteesta ja sen käyttäytymisestä ovat niin vähäisiä, että empiiriset menetelmät saattavat antaa käytännössä paremman tuloksen kuin analyyttiset menetelmät. Empiiristen menetelmien etuja on tietty luotettavuus, tiedetään, että näin on tehty ennenkin. Toisaalta empiiriset menetelmät voivat olla epäluotettavia jos joudutaan olosuhteisiin, jossa niitä ei aiemmin ole käytetty.

Raja analyyttisten ja empiiristen menetelmien käytössä ei ole tarkka, usein empiirisissä menetelmissä käytetään analyyttisten menetelmien vaatimien lähtötietojen määrittämiseen tai esim. numeerisissa menetelmissä käytetään empiiristä murtokriteeriä. Puhtaasti empiirisissä menetelmissä käytetään empiiristä murtokriteeriä. Puhtaasti analyyttisenä menetelmänä voidaan pitää rakopintaa pitkin liukuvan lohokareen lujituksen mitoitusta kun rakopinnan kitkaominaisuudet on mitattu kokeellisesti. Monimutkaisemmat analyyttiset menetelmät kuten numeerinen mitoitus ovat aina osittain empiirisissä, sillä osan lähtötiedoista joutuu mitoittaja määrittelemään kokemuseräisesti.

Analyyttiset suunnittelumenetelmät

Analyyttiset menetelmät voidaan jakaa seuraavasti:

- kallion käyttäytymistä kuvaavat yhtälöryhmät (matemaattinen mallintaminen)
- numeerinen mallintaminen elementtiohjelmistoja hyväksi käyttäen
- analyyttiset mallit (esim. valoelastinen malli) tai fysikaaliset pienoismallit

Analyyttisiä menetelmiä käytettäessä voidaan mitoitus jakaa kahteen osaan, painovoiman aiheuttama lohkojen sortuminen ja jännitystilan aiheuttama kallion murtuminen. Mitoitettaessa kalliolohkoja arvioidaan kriittiset lohkot ja suunnitellaan lujitus niiden painon ja liukupintojen leikkauslujuuden antaman varmuuskertoimen mukaan. Jännitystilatarkastelussa tarkastellaan louhitun tilan aiheuttamaa jännityskenttää ja sen vaikutusta tilan stabiileettiin.

Kalliolohkotarkastelut

Yksinkertaisissa tapauksissa kalliolohkotarkastelut voidaan tehdä ilman tietokoneen apua, mutta yleensä kannattaa käyttää kalliolohkojen mitoitus varten suunniteltuja tietokoneohjelmistoja.

Yksinkertaisimmissa lohko-ohjelmistoissa lähtötietoina ovat rako-suunnat ja louhitun tilan muoto, jolloin ohjelmisto määrittää kriittiset kalliolohkot. Näistä ohjelmisto käytetään joskus nimitystä Key-Block erään varhaisen ohjelman nimen mukaan. Syötettäessä rakopintojen lujuusominaisuudet, tavallisesti koheesio ja kitkakulma, laskee ohjelmisto lohkon varmuuskertoimen ja lujitukselle tulevan kuormituksen. Kehittyneimmissä ohjelmissa voidaan lisäksi määrittää pultitus, jolloin ohjelmisto laskee pultituksen varmuuskertoimen. Lohko-ohjelmistot toimivat parhaiten kun tutkitaan vinoja rakopintoja. Jos yksi rakosuunta on samansuuntainen kuin kalliotilan katto tai lähellä sitä ovat tulokset tulkinnanvaraisia.

Kehittyneempi menetelmä lohkoanalyysiin on käyttää epäjatkuva elementtiohjelmistoa (esim. UDEC, 3DEC). Nämä huomioivat myös jännitystilan vaikutuksen eli niiden avulla voidaan tehdä samalla sekä lohkotarkastelu että jännitystilatarkastelu. Lohkotarkasteluissa etuna on lisäksi se, että ohjelmisto huomioi itse normaali-jännityksen muutoksen aiheuttaman rakopintojen lujuusominaisuuksien vaihtelun. Kaikkein lähimmäksi rakoilleen kallon mallintamista päästään 3-ulotteisilla ohjelmistoilla, 2-ulotteisia käytettäessä mallin rakentaminen vaatii paljon mallintajan arvostelukykyä. Kolmannen ulottuvuuden vaikutus on kyettävä huomioimaan mahdollisimman hyvin. Kaksiulotteinen ohjelmisto antaa yleensä konservatiivisemmän tuloksen koska kolmannen ulottuvuuden rakopintojen kalliolohkoja tukevan voiman huomioiminen on vaikeaa.

Liukupinnan leikkauslujuus τ on tärkein lohkoanalyysien lähtötieto. Se voidaan määrittää esim. Coulombin jo vuonna 1776 esittämän teorian perusteella kaavalla:

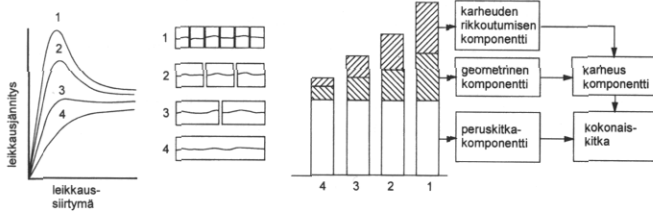
$$\tau = c + \sigma_n \tan \phi \quad (4)$$

jossa c = rakopinnan koheesio

σ_n = rakopinnan normaalin suuntainen jännitys

ϕ = rakopinnan kitkakulma

Teorian ongelmina ovat mm. mittakaavan vaikutus (kuva 8) ja se käytännössä havaittu seikka, että raon leikkauslujuus on epälineaarista riippuvainen normaalijännityksestä.



Kuva 8. Mittakaavan vaikutus raon leikkauslujuuden kolmeen osatekijään (Barton ja Bandis 1981).

Fig. 8. Influence of scale on the tree components of the shear strength of a discontinuity (Barton and Bandis 1981).

Coulombin teorian puutteita on yritetty korjata useilla empiirisillä rakomalleilla, joista käytetyin on Bartonin ja muiden esittämä (kts. Barton ja Bandis 1990):

$$\tau = \sigma_n \tan \left[\phi_b + JRC \log \left(\frac{JCS}{\sigma_n} \right) \right] \quad (5)$$

jossa ϕ_b = peruskittakulma eli sileän raon kitkakulma

JRC = rakopinnan karkeustekijä

JCS = rakopinnan lujuus

Sekä JRC että JCS riippuvat mittakaavasta:

$$JRC_n = JRC_0 \left(\frac{L_n}{L_0} \right)^{-0.02JRC_0} \quad (6)$$

$$JCS_n = JCS_0 \left(\frac{L_n}{L_0} \right)^{-0.03JRC_0} \quad (7)$$

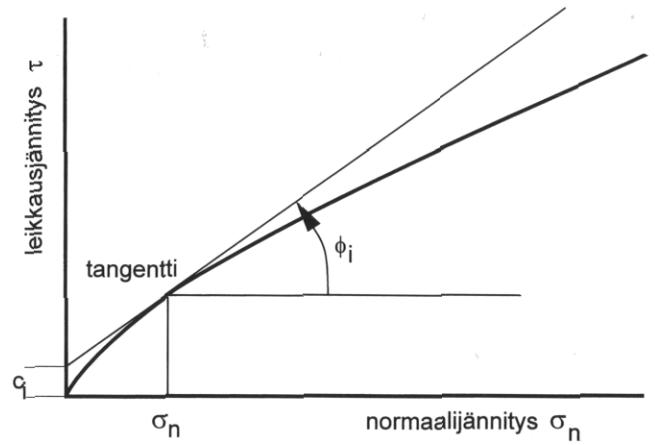
jossa JRC_0 , JCS_0 ja L_0 (pituus) edustavat 100 mm laboratorionäytettä, jossa mittaukset on tehty. JRC_n , JCS_n ja L_n edustavat kalliolohkon kokoa. JRC voidaan määrittää laboratoriotesteillä (tilt-testi), mittaamalla rakopintojen karkeuden amplitudin (mm/m) ja arvioimalla rakopintojen muodosta mallikäyrästä perusteella. JCS mitataan rakopinnasta Schmidtin vasaralla.

Yleensä epäjatkuvien elementtiohjelmien lähtötietona on rakopinnan kitkakulma ja koheesio. Koska Bartonin ja muiden rakomalli on epälineaarista riippuvainen normaalijännityksestä on mallin rakopintojen normaalijännitys arvioitava ja määriteltävä kitkakulma ja koheesio tällä jännityksellä (kuva 9).

Mainittakoon, että UDEC-ohjelmistoon on saatavissa ns. BB-optio, joka käyttää Bartonin ja muiden rakomallia ja huomioi rakopintoihin vaikuttavan jännitystilasta ja mittakaavatekijän.

Rakopinta-analyseissa on huomioitava, kuinka mahdollinen lohko pääsee liukumaan. Jos kyseessä on maanpinnalla oleva kallioliuska, joka pääsee nousemaan ylöspäin joko rakopinnalla vaikuttavan pohjaveden paineen vaikutuksesta tai raon aaltomaisuudesta johtuen on tilanne toinen kuin maanalaisen kalliolohkon, joka ei pääse vapaasti liikkumaan raon normaaliin suuntaan (kuva 10).

Elementtiohjelmissä on lisäksi määriteltävä kallioraolle muitakin ominaisuuksia, vähintään leikkaus- ja normaalijäykkyudet. Leikkausjäykkyys voidaan mitata laboratoriossa, mutta ongelma on sama kuin leikkauslujuuden kohdalla; leikkausjäykkyys riippuu epälineaarista jännitystilasta ja mittakaavasta. Myös normaalijäykkyys voidaan mitata laboratoriossa. Normaalijäykkyys ei riipu merkittävästi mittakaavasta. Leikkaus- ja normaalijännitysten arvi-



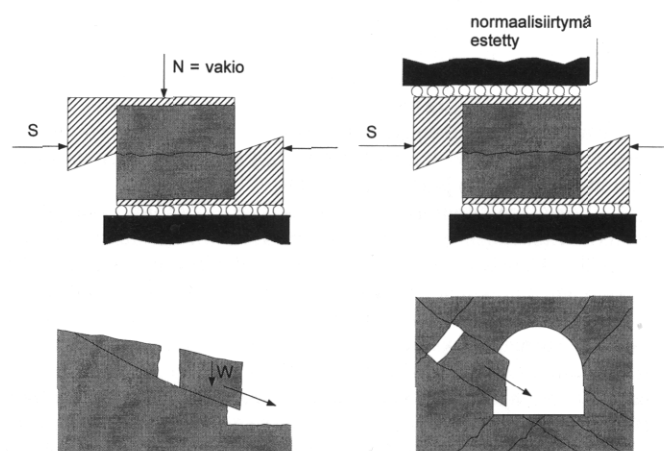
Kuva 9. Hetkellisen koheesion c_i ja hetkellisen kitkakulman ϕ_i määrittäminen epälinearisella murtokriteerillä.

Fig. 9. Definition of instantaneous cohesion c_i and instantaneous friction angle ϕ_i for a non-linear failure criterion.

ointiin on kehitetty myös erilaisia empiirisiä menetelmiä, esim. JRC ja JCS lukuihin perustuvia. Niitä ei tässä lähemmin käsitellä, eräs suomenkielinen kalliorakojen ominaisuuksia käsittelevä kirjallisuuslähde on Vääänen ja Pöllä (1994).

Ehjän kallion lujuusominaisuudet ovat lähellä kairasydännäytteenä mitattuja ominaisuuksia. Kairasydännäytteen mittaustuloksia ei kuitenkaan voi suoraan soveltaa kahdesta syystä; 1. myös ehjillä näytteillä vaikuttaa mittakaavatekijä, erikokoisten puristuslujuusnäytteen mitatut lujuudet ovat erilaiset; 2. käytännössä kaikkien kalliorakojen mallintaminen ei yleensä onnistu, tietokoneen kapasiteetti ei yksinkertaisesti riitä. Tällöin valitaan ne kriittiset raot, jotka vaikuttavat louhitun tilan stabiliteettiin. Ongelmana on se, että mallintamatta jätettyjen rakojen vaikutus on mallissa huomioitava. Tämä voidaan tehdä heikentämällä kriittisten rakojen välisen kallion laatua ehjän kallion laadusta.

Epäjatkuvan menetelmän uusien sovellus on ns. partikkelimalli (esim. PFC, PFC3d), joissa kohteen rakenne koostuu partikkeleista. Partikkeliohjelmit ovat teoreettisesti kaikkein pisimmällä kallion mallintamisessa, sillä niissä voidaan mallintaa rakopintojen välisten ehjien kalliolohkojen murtuminen. Käytännössä ongelmana on edelleenkin tietokoneiden kapasiteetti, täydelliseen luonnon mallintamiseen ei vielä kyetä. Partikkeliohjelmassa aineen lujuus perustuu partikkelin välisten sidosten ominaisuuksiin. Oikeiden arvojen määrittäminen on ongelmallista ja edellyttää kokeellista tutkimusta. Partikkeliohjelmistojen muita käyttöalueita kaivostekniikassa ovat mm. sorrostouhosten ja siltojen toimintojen mallintaminen.

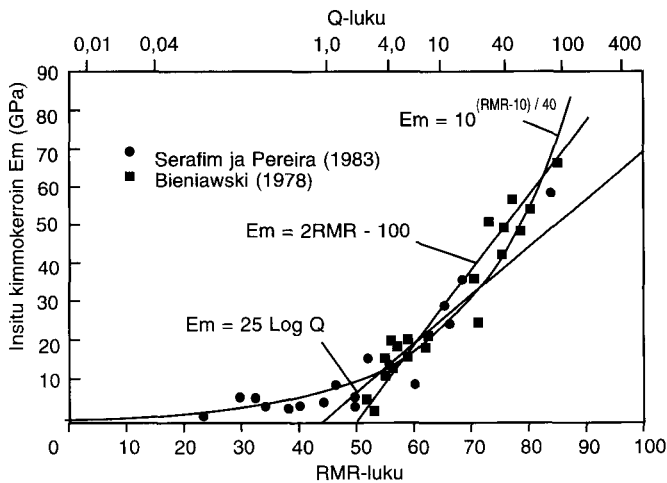


Kuva 10. Kalliolohkon vapausasteiden vaikutus.
Fig. 10. Influence of degree of freedom.

Jännitystila

Lohkostabiliteetin lisäksi on tarkasteltava jännitystilan vaikutus louhituksen tilan stabiliteettiin. Yksinkertaisissa tapauksissa kalliotilan ympärillä olevan jännitystilan määrittäminen suhteellisen yksinkertaista. Yhden varhaisimmista ratkaisuista kaksiluotteiselle jännitystilalle pyöreän reiän ympäröimässä elastisessa aineessa esitti Kirsch vuonna 1898. Käytännössä louhittujen tilojen muoto poikkeaa ympyrästä ja painovoiman vaikutus on huomioitava, jolloin jännitystarkastelut on syytä tehdä numeerisilla menetelmillä. Pelkääntään jännitystilan tarkasteluun käytetään nykyisin lähinnä jatkuvia elementtiohjelmistoja (FEM-ohjelmistot, FLAC, FLAC3D).

Jatkuvilla elementtiohjelmistoilla materiaalin lähtötietoina ovat ainakin kimmokerroin ja Poissonin luku. Kalliomassaa mallinnettaessa ei kairasydännäytteistä mitattuja kimmo-ominaisuuksia voida suoraan käyttää. Kallion kimmokerron ei edes ole vakio vaan riippuu jännitystilasta. Yleensä käytetään laskennan yksinkertaistamiseksi vakioimmokerronta. Yksinkertaisin tapa määrittää kalliomassan kimmokerroin on käyttää kallioluokituksia (kuva 11).



Kuva 11. Kalliomassan kimmokertoimen E_m määrittäminen kallioluokitusmenetelmillä.

Fig. 11. Prediction of in situ deformation modulus E_m from rock mass classifications.

Kimmokertoimen ja Poissonin luvun voi arvioida myös yleisen Hoek-Brownin murtokriteerin kallioluokituksen perusteella (Hoek ja muut 1995). Luokituksen kimmokerroin vaihtelee välillä 1–75 GPa ja vastaavasti Poissonin luku 0,3–0,2.

Seismisillä mittauksilla voidaan kimmokerroin ja Poissonin luku laskea P- ja S-aallonopeuksien avulla. Saadut arvot ovat dynaamisia eli ne kuvaavat kalliomassan käyttäytymistä lyhytaikaisessa kuormituksessa. Mitoitettaessa pitkäaikaisia kuormituksia on seismisistä mittauksista laskettuihin kimmo-ominaisuuksiin suhtauduttava varauksella. Erityisesti huonoissa kalliomekaanisissa olosuhteissa voi dynaaminen kimmokerroin olla jopa 10-kertainen staattisen verrattuna (Franklin ja Dusseault 1989).

Kalliomassan kimmokerroin voidaan laskea kimmoteorian perusteella kun tunnetaan ehjän kiven kimmokerroin, rakosuuntien määrä, rakoväli sekä rakojen leikkaus- ja normaali jäykkyudet. Menetelmän ongelmana on rakojen ominaisuuksien luotettava määrittäminen.

Yleensä elementtiohjelmistoissa käytetään Mohr-Coulomb murtokriteeriä kuvaamaan kallion lujuutta. Kriteeri on varsin käyttökelpoinen, mutta se ei kuvaa luontoa täysin oikein. Pahin puute on kriteeristä laskettu vetolujuus, joka kalliomassan tapauksessa antaa aivan liian suuria arvoja. Toinen puute on kalliomassan havaittu epälineaarinen käyttäytyminen, kun Mohr-Coulomb kriteeri on lineaarinen. Virhe on sama kuin rakopintojen kohdalla (kts. kuva 9).

Näistä syistä on kehitetty useita empiirisiä murtokriteerejä kuvaamaan kallion käyttäytymistä. Käyttökelpoisin niistä on 1980 esitetty Hoek-Brownin murtokriteeri. Kriteeriä on vuosien mittaan kehitelty

ja viimeisin versio on ns. yleinen Hoek-Brown murtokriteeri, joka julkaistiin tänä vuonna (Hoek ja muut 1995).

Yleinen Hoek-Brown murtokriteeri perustuu kaavaan:

$$\sigma_1 = \sigma_3 + \sigma_c \left(m_b \frac{\sigma_3}{\sigma_c} + s \right)^a \quad (8)$$

jossa m_b on materiaaliparametrien m arvo kalliomassalle s ja a ovat kalliomassan materiaaliparametreja σ_c on ehjän kiven (esim. kairasydännäyte) yksiakiaalinen puristusmurtolujuus

σ_1' ja σ_3' ovat suurin ja pienin pääjännitys murtokohdella.

Parametrit määritetään häiriintymättömälle kalliolle seuraavasti:

$$\frac{m_b}{m_i} = \exp \left(\frac{GSI-100}{28} \right) \quad (9)$$

Kun $GSI > 25$:

$$s = \exp \left(\frac{(GSI-100)}{9} \right) \quad (10)$$

$$a = 0,5 \quad (11)$$

Kun $GSI < 25$:

$$s = 0 \quad (12)$$

$$a = 0,65 - \frac{GSI}{200} \quad (13)$$

m_i on ehjän kiven materiaaliparametri. Se voidaan määrittää lähteen Hoek ja muut (1995) taulukosta kivilajin perusteella tai kolmiakiaalikoikkeella. GSI (Geological Strength Index) on yleiselle Hoek-Brown murtokriteerille kehitetty kallion laatu-luku. GSI voidaan laskea esim. Q-luokituksen parametreista kaavalla:

$$GSI = 9 \ln \left(\frac{RQD}{J_n} \times \frac{J_r}{J_a} \right) + 44 \quad (14)$$

Koska Hoek-Brown kriteeri on epälineaarinen ovat kriteerin kitkakulma ja koheesio jännitystilasta riippuvia eli ns. hetkellisiä (kts. kuva 9). Yleensä Hoek-Brown murtokriteeriä ei voida suoraan käyttää elementtiohjelmistoissa, vaan kitkakulma ja koheesio on laskettava vallitsevalle jännitystilalle erikseen.

FLAC ja FLAC3D ohjelmistoissa on mahdollisuus käyttää makrokieleä (FISH-kieli). Sama ominaisuus on tulossa UDEC ja 3DEC ohjelmistoihin. Makrokielen avulla voidaan Mohr-Coulomb kriteerin kitkakulmaa ja koheesiot muuttaa laskennan aikana vallitsevan jännitystilan mukaiseksi. FLAC ohjelmiston mukana tulee valmiiksi kirjoitettu makro, jonka avulla voidaan käyttää ns. alkupeiristä, vuonna 1980 esitettyä Hoek-Brown murtokriteeriä. Alkuperäinen Hoek-Brown kriteeri vastaa yleistä kriteeriä silloin kun $GSI > 25$.

Hoekin ja muiden (1995) mukaan yleistä Hoek-Brown kriteeriä voidaan käyttää ehjälle kivelle (merkitään $m_b = m_i$ ja $s = 1$) ja kalliolle jossa on useita rakosuuntia tai joka on voimakkaasti rakoillut. Jos kalliossa on kaksi rakosuuntaa on kriteeriä käytettävä harkiten. Yhdellä rakosuunnalla kriteeriä ei suositella.

Yleistä Hoek-Brown kriteeriä käytettäessä on huomioitava, että kun $GSI < 25$ ovat kriteerin yksiakiaalinen puristuslujuus ja vetolujuus molemmat nolla. Tämä saattaa antaa joissain tilanteissa epärealistisia tuloksia.

Kallion vetolujuus

Kallion vetolujuus on pieni verrattuna sen puristuslujuuteen. Vetolujuuden oletaminen nolaksi antaa kuitenkin usein liian konservatiivisia tuloksia. Laskennan sujuvuuden ja virhetulokintojen välttämiseksi on yleensä syytä käyttää nollaa suurempia arvoja.

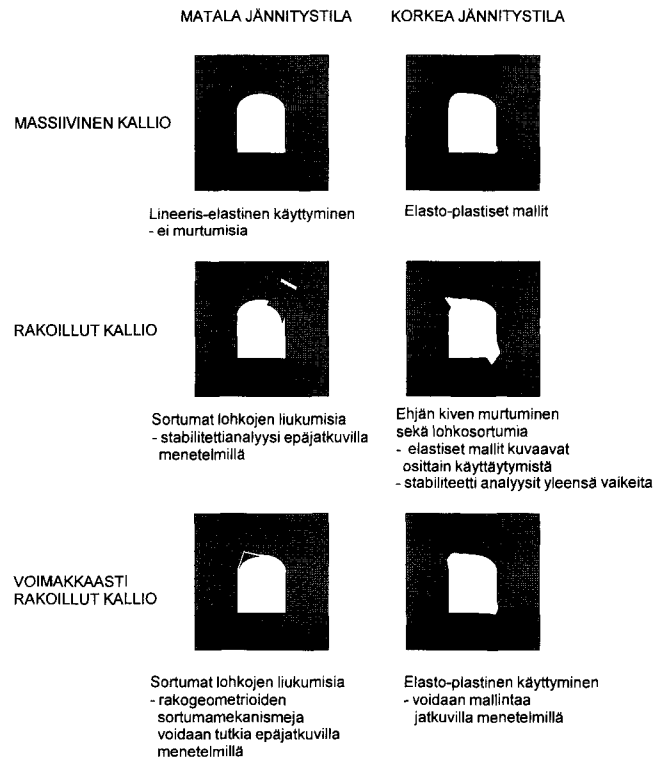
Kalliomassan vetolujuutta voidaan arvoida Hoek-Brown murto-kriteerin avulla. Vuonna 1980 esitetyn, ns. alkuperäisen kriteerin avulla voidaan laskea kalliomassan vetolujuus σ_t , kaavalla (Hoek ja Brown 1980):

$$\sigma_t = 1/2 \sigma_c (m - \sqrt{m^2 + 4c}) \quad (15)$$

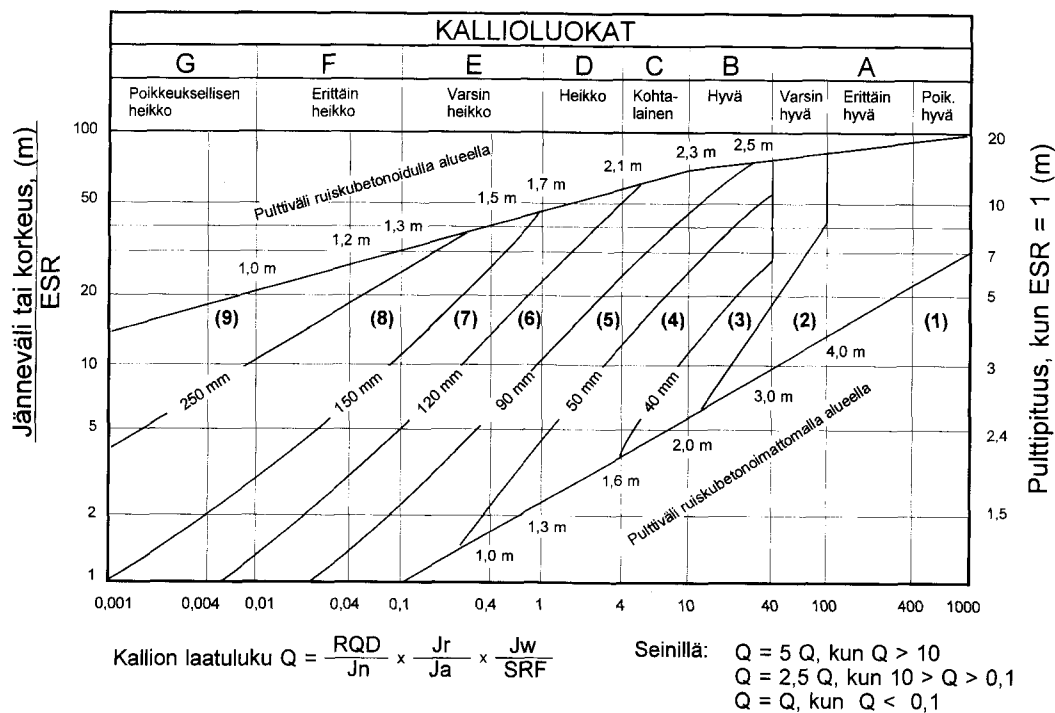
Hoek-Brown kriteerin viimeisimmän version mukaan em. kaava on voimassa kun $GSI > 25$. Heikommalla kalliolaadulla on vetolujuus kriteerin mukaan nolla.

Numeerinen mallintaminen

Numeeriset laskentamallit ovat kehittyneet voimakkaasti viime vuosien aikana. Laskentatehon kasvaessa 3-ulotteisten mallien laskeminen on tullut mahdolliseksi normaaleilla mikrotietokoneilla. Numeeristen mallien hyödyntäminen kaivossuunnittelussa edellyttää, aivan kuten siviilirakentamisessakin, mallintajan kokemusta sekä riittäviä lähtötietoja. Mallinnuksessa on ensiarvoisen tärkeää, että käytetään kulloiseenkin kohteeseen parhaiten sopivaa mallinnusmenetelmää (kuva 12). Tämän lisäksi numeerisen tarkastelun tekijällä pitää olla kokemusta erilaisten materiaalien, materiaalmallien sekä geometrioiden mallintamisesta. On luonnollista, että mallinnustulokset ovat riippuvaisia lähtöparametrien tarkkuudesta. Vaikka lähtöparametrit olisivat kattavasti määriteltä, mallinnukseen pitää aina liittää parametritarkastelu, minkä avulla saadaan lopullisesti selville koh-



Kuva 12. Numeeristen menetelmien valinta.
Fig. 12. Numerical methods selection.



LUJITUSLUOKAT

- | | |
|---|--|
| 1) Lujittamaton | 5) Teräskuidulla vahvistettu ruiskubetoni, 50...90 mm ja pultitus |
| 2) Hajapultitus | 6) Teräskuidulla vahvistettu ruiskubetoni, 90...120 mm ja pultitus |
| 3) Systemaattinen pultitus | 7) Teräskuidulla vahvistettu ruiskubetoni, 120...150 mm ja pultitus |
| 4) Systemaattinen pultitus ja 40...100 mm raudoittamaton ruiskubetoni | 8) Teräskuidulla vahvistettu ruiskubetoni, >150 mm ja ruiskubetonoidut teräsbetonikaaret sekä pultitus |
| | 9) Valettu betonivuoraus |

Kuva 13. Q-luokituksen empiiriset lujitusuositukset Grimstadin ja Bartonin (1993) mukaan. Suositukset perustuvat 1.050 louhintakohteseen. Kaivoskohteissa käyttötarkoitusta kuvaava ESR-luku voidaan määrittää seuraavasti: pumppuasemat, murskaamo, kuiluasemat ym. ESR = 0,9...1,1. Vinotunneli: ESR = 1,2...1,3. Pysyvät kaivostunnelit: ESR = 1,6...2,0. Pystykuilut, poikkileikkaus ympyrä: ESR = 2,5...3,0, poikkileikkaus suorakaide: ESR = 2,0...2,5. Väliaikaiset kaivostunnelit, louhokset: ESR = 3...5.

Fig. 13. Support recommendation based on Q-classification by Grimstad and Barton (1993). The recommendations are based on 1,050 case histories. Suitable values for ESR are: pumpstations, crushing plant, shaft stations etc. ESR = 0.9...1.1. Ramp: ESR = 1.2...1.3. Permanent mine openings, stopes: ESR = 1.6...2.0. Vertical shafts, circular: ESR = 2.5...3.0, rectangular: 2.0...2.5. Temporary mine openings, stopes: ESR = 3...5.

teessa vallitsevat mekanismit sekä voidaan arvioida parametrien vaihteluvälien merkitys.

Numeerinen mallintaminen tietokoneilla on varsin tehokasta ja tieteellistä pisimmälle vietyä kalliomekaanista suunnittelua. Kuitenkaan se ei ole vielä täydellistä, tietokoneiden kapasiteetti ei vielä nykyisin riitä kalliomassan täydelliseen mallintamiseen. Tietokone-malli on yksinkertaistus luonnosta ja oikeanlaisen yksinkertaistuksen tekeminen voi olla vaikeaa. Toinen ongelma ovat riittävän luotettavat lähtötiedot sillä tietokoneen laskema tulos ei ole yhtään luotettavampi kuin siihen syötetyt lähtötiedot.

EMPIRISET SUUNNITTELU MENETELMÄT

Empiirisillä suunnittelumenetelmillä tarkoitetaan tässä pelkästään empiirisia lujitussuosituksia. Tunnelin ja eräiden louhintamenetelmien (esim. pilarilouhinta ja cut and fill) vaatimat lujitukset tai suurimmat lujittamattomat jännevälit ja seinäkorkeudet voidaan määrittää Q-luvun perusteella (kuva 13) ja avoimien louhosten jännepunospultitus Stability Graph menetelmällä (kuva 14). Kuvan 13 lujitukseen kohdistuva kuormitus P voidaan määrittää kaavalla (kts. esim. Kveldsvik ja Karlsrud 1995):

$$P = \frac{2J_n^{1/2} \times Q^{-1/3}}{30J_r} \text{ MPa} \quad (16)$$

Erilaisia empiirisia lujitussuosituksia on muitakin (esim. RMR- ja RSR-luokituksiin ja RQD-lukuun perustuvia) mutta Q-luokitukseen perustuvat lujitussuositukset ovat näistä nykyaikaisimmat ja monipuolisimmat.

Pilareiden mitoituksessa voidaan käyttää esim. Laubscher (1990) esittämää DRSM-lukua, joka kuvaa kallion lujuutta. Pilarin lujuus P_s saadaan kaavalla:

$$P_s = DRMS \frac{W^{0,5}}{H^{0,7}} \quad (17)$$

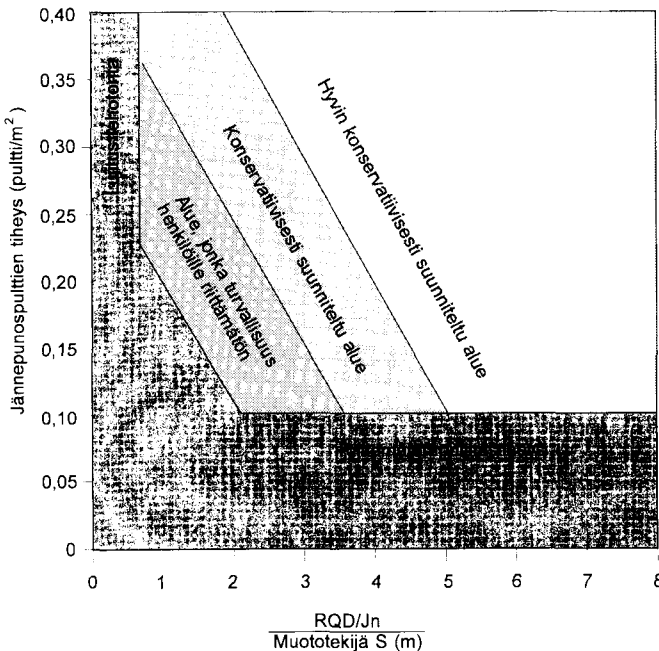
jossa $W = 4 \times SI$, SI = pilarin poikkileikkaus; ala/ympärysmitta
 H = pilarin korkeus

DRMS-luku määritetään rakojen välisen kallion lujuutta kuvaavalla IRS-luvulla, RMR-luvulla ja rapautumisasteen, rakosuuntien ja louhintamenetelmän vaikutuksen avulla.

Kalliolaadun vaikutusta eräisiin louhintamenetelmiin voidaan alustavasti määrittää MRMR-luvulla (taulukko 1).

Taulukko 1. MRMR-luvun vaikutus louhintaan (Laubscher 1990).
Table 1. Mining method related to MRMR (Laubscher 1990).

Laatuluokka	5	4	3	2	1
RMR	0...20	21...40	41...60	61...80	80...100
Lohkosorrolouhinta					
Avaus, SI, m	1...8	8...18	18...32	32...50	>50
Sortuvuus	Eritt.hyv.	Hyvä	Koht.	Heikko	Erit.heik
Lohkokoko, m	0,01...0,3	0,1...2	0,4...5	1,5...9	3...20
Räjähdyssaine, g/t	0...50	50...150	150...400	400...700	>700
Keskeytykset, % tonneista	0 %	15 %	30 %	45 %	>60 %
Vetoalueen halkaisija, m	6...7	8...9	10...11,5	12...13,5	15
Lastausaukkojen väli, m säleikkö raappa LHD	5...7 5...7 9	7...10 7...10 9...13	9...12 9...12 11...15		13...18
Lastausaukon kattokulman tuenta	Teräskaaret ja betoni Teräsbetoni		Betoni	Räjätys suoja	
Tunneleden tuenta	Vuoraus, lujitus rakenteiden korjaus		Vuoraus, lujitus	Lujitus	
Kuljetusperän leveys, m	1,5...2,4	2,4...3,5	2,4...4	4	
Etenemis-suunta	Kohti pientä jännitystilaa		Kohti suurta jännitystilaa		
Kommentit	Pieni lohkarokko, heikko kallio, raskaat lujitukset, korjausta	Keskin-kertaisen lohkarokko, hyvä kallio, kohtal. tuenta	Keskin-kertaisen karkea lohkarokko, poraus aiheuttaa vähän keskeytyksiä	Karkea lohkarokko, isot LHD:t, poraus aiheuttaa keskeytyksiä	
Levysorrolouhinta					
Reikäkato	Erit. suuri	Kohtal.	Mitätön	Ei	Ei
Lastausaukon kattokulman kulma	Erittäin suuri	Kohtalainen	Pieni	Ei	Ei
Tuenta	Raskas	Keskim.	Pieni	Paikallis	Ei
Laimennus	Erit. suuri	Suuri	Keskim.	Pieni	Erit. pieni
Avaus, SI, m	1...8	8...18	18...32	32...50	>50
Kommentit	Ei käytännöllinen	Mahdollinen	Sopiva	Sopiva	Sopiva, laaja sortuma-alue
Välitasolouhinta					
Min. jännev, m	1...5	5...20	20...30	30...80	100
Pysyvä SI, m	-	1...8	8...16	16...35	>35
Avolouhinta					
Kaltevuus	35°	45°	55°	65°	75°



Kuva 14. Jännepunospultituksen tiheyden määrittäminen Stability Graph menetelmällä. Menetelmä perustuu kokemuksiin noin 350 louhoksesta Kanadassa. Jännepunospulttien suositeltu pituus on suunnilleen louhoksen jänneväli. (Potvin ja Milne 1992).

Fig. 14. The Stability Graph method, cablebolt density design chart. The method is based on the analysis of more than 350 case histories from Canadian mines. The length of the cablebolt is app. equal to the span of the opening (Potvin and Milne 1992).

KIRJALLISUUS – REFERENCES

- N.R. Barton, R. Lien, J. Lunde.* 1974. Engineering Classification of Rock Masses for the Design of Tunnel Support. *Rock Mech.* 6 (4), 189–239.
- N.R. Barton, S.C. Bandis.* 1990. Review of Predictive Capabilities of JRC-JCS Model in Engineering Practice. In *Rock Joints*, proc. int. symp. on Rock Joints. Eds. N. Barton and O. Stephansson. Loen, Norway. Balkema. Rotterdam. 603–610.
- Nick Barton, Eystein Grimstad.* 1994. The Q-System following Twenty Years of Application in NMT Support Selection. *Felsbau* 12 Nr. 6. 428–436.
- Z.T. Bieniawski.* 1978. Determining rock mass deformability – experiences from case histories. *Int. J. Rock Mech. Min. Sci. & Geomech. Abstr.* 15. 237–247.
- Z.T. Bieniawski.* 1989. *Engineering Rock Mass Classifications.* Wiley. New York.
- S.H. Boshkov, F.D. Wright.* 1973. Basic and Parametric Criteria in the Selection, Design and Development of Underground Mining Systems. *SME Mining Engineering Handbook.* Eds. A.B. Cummins and I.A. Given. Vol. 1. SME-AIME. New York. 12.2–12.3.
- B.H.G. Brady, E.T. Brown.* 1993. *Rock Mechanics for Underground Mining* 2nd ed. Chapman & Hall. New York.
- J.A. Franklin, M.B. Dusseault.* 1989. *Rock Engineering.* McGraw-Hill.
- Eystein Grimstad, Nick Barton.* 1993. Updating of the Q-system for NMT. Proc. int. symp. on sprayed concrete – Modern use of wet mix sprayed concrete for underground support, Fagernes. Eds. Kompen, Opsahl and Berg. Norwegian Concrete Association. Oslo.
- H.L. Hartman.* 1987. *Introductory Mining Engineering.* Wiley. New York.
- E. Hoek.* 1989. A Limit Equilibrium Analysis of Surface Crown Pillar Stability. Proc. Intl. Conf. Surface Crown Pillar Evaluation for Active and Abandoned Metal Mines. Timmins. Ontario. 1...11.
- E. Hoek, E.T. Brown.* 1980. *Underground Excavations in Rock Instn Min.* Metall. London.
- E. Hoek, P.K. Kaiser, W.F. Bafden.* 1995. *Support of Underground Excavations in Hard Rock.* A.A. Balkema.
- Vidar Kveldsvik, Kjell Karlsrud.* 1995. Support Methods and Groundwater Control. In *Norwegian Urban Tunneling.* Eds. J. Hope, B. Finborud, U. Fredriksen and O. Øverland. Norwegian Soil and Rock Engineering Association. Publ. No. 10. Tapir. Trondheim.
- D.H. Laubscher.* 1981. Selection of Mass Underground Mining Methods. Design and Operation of Caving and Sublevel Stopping Mines. Chap 3. Ed. D. Steward. SME-AIME. New York. 23–38.
- D.H. Laubscher.* 1990. A Geomechanics Classification System for the Rating of Rock Mass in Mine Design. *J.S. Afr. Min. Metall.* Vol. 90. No. 10. 257–273.
- Jyri Liimatainen.* 1995. Uuden tekniikan vaikutus kaivoksen kannattavuuteen. Älykäs kaivos teknologiahanke. Projekti 10.7. Väliraportti 7.6. 1995. Teknillinen korkeakoulu, Kalliotekniikan laboratorio. Otaniemi.
- K.E. Mathews, E. Hoek, D.C. Wylie, S.B.V. Steward.* 1981. Prediction of Stable Excavation Spans for Mining at Depths below 1000 m in Hard Rock Mines. CANMET Report DSS Serial N. OSQ80–00081. Ottawa.
- R.G.K. Morrison.* 1976. *A Philosophy of Ground Control.* McGill University. Montreal. 125–159.
- David E. Nicholas.* 1981. Method Selection – A Numerical Approach. Design and Operation of Caving and Sublevel Stopping Mines. Chap. 4. Ed. D. Steward. SME-AIME. New York. 39–53.
- David E. Nicholas.* 1992. Selection Procedure. *SME Mining Engineering Handbook.* 2nd ed. S.ed. Howard L. Hartman. Vol. 2. SME-AIME. New York. 2090–2106.
- S.D. Nickson.* 1992. Cable Support Guidelines for Underground Hard Rock Mine Operations. MSc. thesis. Dept. Mining and Mineral Processing. University of British Columbia.
- R. Peele, ed.* 1941. *Mining Engineers' Handbook.* 3rd ed. Choice of Underground Metal-Mining Method. Wiley. New York. 10–428...10–430.
- Y. Potvin.* 1988. Empirical Open Stope Design in Canada. Ph.D. thesis. Dept. Mining and Mineral Processing. University of British Columbia.
- Y. Potvin, D. Milne.* 1992. Empirical Cable Bolt Support Design. In *Rock Support in Mining and Underground Construction.* Proc. int. symp. on Rock Support. Sudbury. Eds. P.K. Kaiser and D.R. McCreath. Balkema. Rotterdam. 269–275.
- J.L. Serafim, J.P. Pereira.* 1983. Consideration of the geomechanical classification of Bieniawski. Proc. int. symp. on engineering geology and underground construction. Lisbon 1 (II). 33–44.
- E.M. de Souza, J.F. Archibald.* 1987. Rock Classification as an Influence in Mine Design Operations. *Min. Sci. and Tech.* 6. 1–8.
- S.B.V. Steward, W.W. Forsyth.* 1995. The Mathew's Method for Open Stope Design. *CIM Bulletin.* Vol. 88. No. 992. 45–53.
- Pauli Syrjänen.* 1993. Maanalaisten tilojen kalliomekaanisen suunnittelun perusteet. Opetusmoniste TKK-KAL B 10. Teknillinen korkeakoulu. Kalliotekniikan laboratorio. Otaniemi.
- Anne Väättäinen, Jukka Pöllä.* 1994. Rakovyöhykkeiden ja rakojen mekaanisista ominaisuuksista. Kalliorakentaminen 2000 teknologiahanke. Projekti 6.4. Espoo.

SUMMARY

ROCK MECHANICAL METHODS FOR MINE DESIGN

This paper presents some rock mechanical methods for mine design. The rock mechanical design in mine should be included at early stages of design. Suitable methods at conceptual and pre-feasibility stage are empirical. More complex analytical methods are used at later stages especially at poor ground. When using analytical methods their results should always be compared with empirical methods.

It's obvious that individual mine can not make complex analytical analysis with numerical methods. A mine should follow the rock quality regularly by using suitable rock classification methods as Q- and RMR-classifications and use empirical and simple analytical design methods. For more sophisticated design methods mine should use an expert who has become familiar with the mine.

Materiaalien lämpökäsittelyä auringonvalolla

DI Ilkka Penttinen, TkT Seppo Kivivuori, TKK, Materiaalien muokkauksen ja lämpökäsittelyn laboratorio, Otaniemi

Auringon valoa on tutkittu intensiivisesti aina 70-luvun öljykriisistä lähtien halpana ja puhtaana energialähteenä. Suomessa aurinko- eli solaarienergian hyödyntäminen on rajoittunut pääasiassa talojen lämmitykseen, missä aurinkoenergiaa käytetään muun lämmityksen täydentäjänä sekä aurinkopaneelisiin, jotka tarjoavat sähköä siellä missä kiinteän sähköverkon rakentaminen tulisi liian kalliiksi. Syynä solaarienergian vähäiseen kiinnostavuuteen on ilmeinen; auringon valon määrä Suomessa on vähäinen vuotuisen säteilyvuon ollessa noin 800-1100 kWh/m²a. Tehokkaampi, Suomen tasoon verrattuna yli kaksinkertainen, valovuo lankeaa päivantasajaan alueelle noin 3000 km levyiselle vyöhykkeelle.

Aurinkoenergian käytölle suotuisan vyöhykkeen sisällä sijaitsee useita tutkimuslaitoksia, joissa käsitellään ja karakterisoidaan materiaaleja solaarienergian avulla. Laitosten keskeinen tutkimuslaite, aurinkouuni on tavallisesti suuri, monista osista koottu tasopeilien ryhmä, joka kohdistaa auringonsäteet kiinteään koveraan peiliin. Itse uuni on tämän peilin polttopisteessä. Heijastavan pinta-alan määrästä ja peilien konstruktiosta riippuen aurinkouuneissa saavutetaan jopa yli 3000°C lämpötiloja maksimivuon ollessa vähintään 1 MW/m² ja enimmillään jopa 100 MW/m². Uunien kokonaistehot vaihtelevat muutamasta kW:sta aina 5000 kW, joka saavutetaan Uuden Meksikon alueella Albuquerqueassa olevassa, Sanian kansallisen tutkimuslaitoksen uunissa.

Aurinkouuneilla tehtävien käsittelyjen ja tutkimusten kirjo on laaja. Jo toteutuneita tai käynnissä olevia, solaarienergiaa käyttäviä matalalämpötila-tutkimusprojekteja ovat mm. teollisuusmittakaavassa tehtävä meriveden puhdistaminen suolasta, solaarikemialliset sovellutukset kuten uudet jätevesien puhdistusprosessit, kuivatus maataloustuotteiden lisäaineettomana säilöntämenetelmänä sekä rakennusten lämpötaseen optimointi. Materiaaliteknisesti kiinnostavimpia aurinkouunien käyttökohteita ovat korkealämpötilatutkimukset, joissa metalliseen tai keraamiseen materiaaliin kohdistetaan voimakkaasti fokuusoitu valovuo. Vaikka aurinkouuneja käytetään onnistuneesti bulkkitaavaran prosessointiin, solaarienergian suurimman käyttöpotentiaalin uskotaan tällä hetkellä liittyvän materiaalien pintakäsittelyyn. Potentiaalisia sovellutuksia ovat mm. terästen pintakarkaisu, erilaiset pinnoitus- ja päällystysmenetelmät, pinnoitteiden ja ohutkalvojen jälkikäsitteilyt sekä erityisesti korkeissa lämpötiloissa tapahtuva materiaalien tutkimus ja karakterisointi.

AURINKOPROSESSIEN EDUT

Tutkimuslaitteistona aurinkouunin käyttö kilpailee laserilla ja kaaripurkauslamppuilla suoritettavien lämpökäsittelykokeiden kanssa. Fokuusoitu auringonvalo tuo kappaleen pintaan saman energiatuon kuin esimerkiksi laser, mutta siinä missä laserkuumennuksen hetkellinen vaikutusala on suurimmillaan muutamia neliösenttimetrejä, on aurinkouunilla aikaansaadun valopisteen halkaisija jopa useita kymmeniä senttimetrejä. Tämä mahdollistaa suurten kappaleiden lämpökäsittelyn. Toinen merkittävä etu saavutetaan testattaessa materiaalien kykyä kestää erittäin nopeita, iskumaisia kuumennuksia. Aurinkouunissa voidaan helposti testata esimerkiksi terästen termistä väsymistä. Kokeissa käytettävä lämpötilan muutosohjelma voidaan valita vapaasti lämpötila-alueelta, joka tarvittaessa ulottuu aina terästen sulamispisteeseen saakka. Myös keraamisten materiaalien testaus

korkeissa lämpötiloissa onnistuu aurinkouunissa. Keraamiset koe-kappaleet voidaan vaivattomasti altistaa pulssimaiselle termiselle kuormitukselle aina avaruusteollisuuden tiukkojen tarkistusstandardien mukaisesti.

Kaikki aurinkouunit fokusoivat valonsäteitä. Systeemin joustavuus saavutetaan muuttamalla optiikkaa. Esimerkiksi säteen muodostama kuvio voidaan sovittaa kappaleen muodon mukaiseksi, polttopituus voidaan säätää siten että laitteiston optiikka ei vahingoitu kohdemateriaalin sputteroitumisen tai kaasunpoiston myötä ja fokuusoivan peilipaketin muoto voidaan valita siten, että saatavan valovuon vaihteluväli on optimaalinen kullekin sovellutukselle. Fokuoimalla auringonvaloa kohdistavia peilejä käyttäen voidaan valotehoksi saada aina 100 MW/m². Yleistäen aurinkouuniprosessit ovat luonnostaan saasteettomia ja tehokkaita menetelmiä, joissa valonlähde toimii moitteettomasti ilman ulkoista jäähdtyystä ja joissa varsinainen reaktiokammio voidaan suunnitella myös kylmäseinäiseksi.

Aurinkouuneissa käytetty valo kattaa aallonpituusalueen 305 nm - 2500 nm eli ultravioletin ja infrapunaisen välisen näkyvän valon alueen. Koska useimmat materiaalit absorboivat näkyvää valoa paremmin kuin esimerkiksi infrapunaista valoa, voidaan näitä materiaaleja tehokkaasti lämpökäsitellä aurinkouunissa eikä erillisiä pinnoitteita tai muita absorptiota parantavia tekniikoita tarvita. Kun fokuusoitu auringonvalo törmää heikon lämmönjohtavuuden omaavaan materiaalin pintaan, aikaansa se erittäin nopean pintakerroksen lämpiämisen. Esimerkiksi valovuo 20 MW/m² tarvitsee 0,14 sekuntia nostaakseen silikaatti (SiO₂) - kappaleen pinnan sulamislämpötilaan 1720°C. Pinnan lämpötilan nousu tapahtuu niin nopeasti, että silikaattikappaleen sisus ei ehdi saavuttaa sulamislämpötilaa.

Tutkimuskäytön ohessa aurinkouunit alkavat olla kilpailukykyisiä myös joissakin teollisissa sovellutuksissa kuten joidenkin autonosien pintakarkaisussa. Yleistä, kertapanosteisesta lämpökäsittelystä tehty systeemanalyysi on osoittanut, että tarkoituksenmukaisesti suunniteltu ja sijoitettu aurinkouuni on taloudellisesti kilpailukykyinen laserilla ja kaaripurkauslamppuilla lämmitettävien uunien kanssa. Tämä johtuu siitä, että laitoksen koon kasvaessa laite- ja energiakustannusten merkitys kasvaa samalla kun työkustannusten merkitys vähenee. Aurinkouunissa valo fokusoidaan tavallisimmin kahden heijastuksen kautta. Kummassakin heijastuksessa hävikki on 5-10 % mikä tarkoittaa yli 80 % hyötysuhdetta. Laserilla ja kaaripurkauslamppuilla aikaansaatu pinnan kuumennusprosessi edellyttää, että kemiallinen energia (fossiilinen polttoaine) muuttuu lämpöenergian kautta sähköenergiaksi ja sähköenergiasta säteilyenergian kautta takaisin lämmöksi. Tämä selittää sen, miksi korkeapaine-kaaripurkauslampun hyötysuhde on vain noin 9 % ja CO₂ laserin noin 4 %.

PLATAFORMA SOLAR DE ALMERIA

Euroopan suurin solaarienergian testauslaitos sijaitsee Etelä-Espanjassa, Almeriassa. 80-luvun alusta Plataforma Solar de Almeriassa (PSA) on EU:n myötävaikutuksella rakennettu eri käyttötarkoituksiin soveltuvia, aurinkoenergiaa hyödyntäviä tutkimusuneja. Alueella on käynnissä useita yhteiseurooppalaisia tutkimusprojekteja, jotka voidaan karkeasti jakaa viiteen ryhmään;

- sähköntuotanto
- teolliset lämpökäsittelyt (=suolanpoisto merivedestä)

- solaarikemialliset prosessit
- materiaalitestausta
- kansainvälinen koulutus ja tulosten hyödyntäminen

Materiaalitestaukseen käytettävä korkeisiin lämpötiloihin soveltuva aurinkouuni koostuu neljästä tasopeilistä, sulkimesta, koverasta fokuoivasta peilistä sekä itse uunitilasta. Kukin tasopeili kääntyy itsenäisesti seuraten tietokoneohjatusti auringon liikerataa siten, että peili valaisee neljänneksen fokuoivan peilin pinnasta. Tasopeilien ja fokuoivan peilin välissä on 30 kaihtimesta koostuva suljin, jonka kaihtimia voidaan kääntää välillä 0° (auki) - 58° (kiinni) pienimmän mahdollisen käännöksen ollessa 0,00346°. Tällä tarkkuudella sulkimella on 15896 eri asentoa vuoron säätötarkkuuden ollessa noin 9×10^{-5} . Fokuoiva peilipinta keskittää sulkimen kautta tulevan valon halkaisijaltaan 20 cm olevaksi spotiksi, jossa lämpötila on jakautunut Gaussin käyrän mukaisesti maksimilämpötilan ollessa noin 3000°C. Tämä lämpötila saavutetaan huipputeholla 60 kW. Jonkinlaisen käsityksen uunin koosta saa sen mitoista: yhden tasopeilin heijastava pinta-ala on 56,6 m², mikä neljällä kerrottuna antaa kokonaispeilipinnaksi yli 226 m², sulkimen koko on 11 x 10,4 m², fokuoivan peilin heijastava pinta 98,5 m² ja polttoväli 7,45 m. Aurinkouunin rakenne on esitetty kaaviollisesti kuvassa 1.

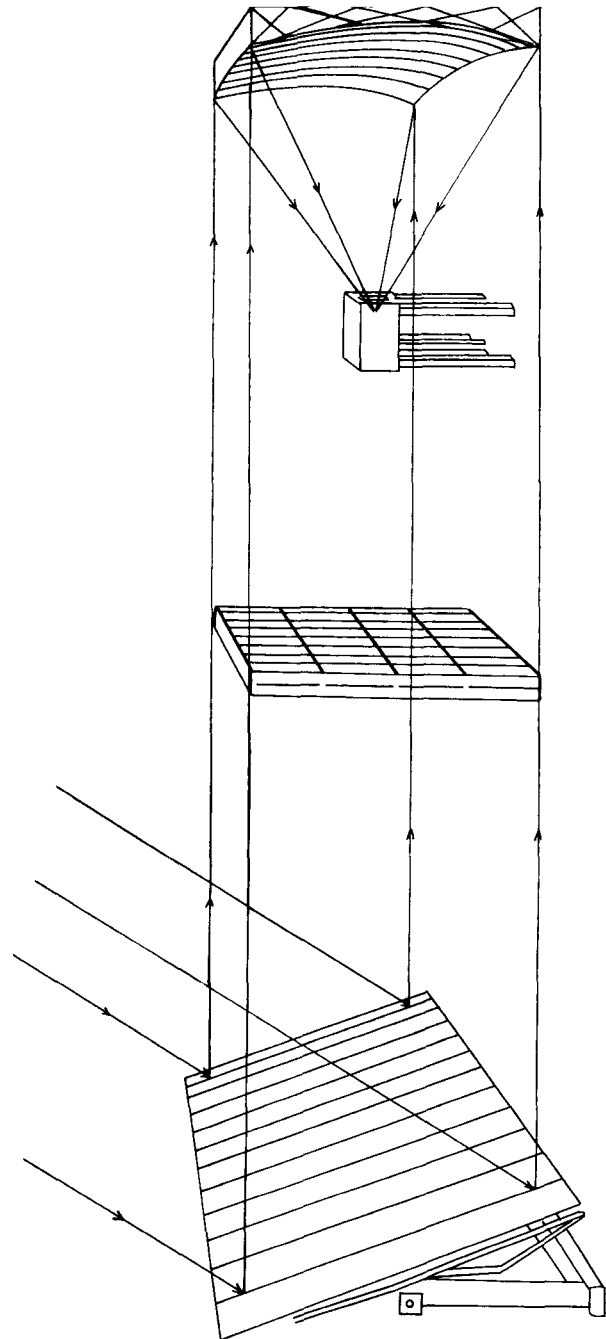
Aurinkouunin käytössä olevat lisälaitteet ovat tällä hetkellä: ATK-pohjainen tiedonkeruusysteemi, vesijäähdytyslaitteisto, näytepöydän tietokoneohjattu kolmiaksaalinen siirtomekanismi, näytepöydän pyöritysmekanismi, valovuonimittauslaitteisto sekä tyhjökammio halutun uuniatmosfäärin aikaansaamiseksi. Toteutusvaiheessa ovat ainakin seuraavat lisälaitteet: IR-pohjainen lämpötilamittausyksikkö aina lämpötiloja 3000 °K varten sekä toinen sarjaan kytkettävä fokuoiva peili, jolla uuniin tulevan valovuonin teho voidaan nostaa nykyisestä energiatiheydestä 3000 kW/m² aina arvoon 5000 kW/m² asti. Myös materiaalitestauksen kannalta oleellinen metallurginen laboratorio on rakenteilla.

TKK MUKAAN PSA:N LÄMPÖKÄSITTELY-TUTKIMUKSEEN

PSA:ssa on tekeillä useita materiaalitieteellisesti kiinnostavia tutkimusprojekteja, joissa selvitetään mm. aurinkoenergian avulla tapahtuvaa rautavaltaisten metalliseosten pintakäsittelyä, komposiittipinnoitteiden valmistusta, eri materiaalien sintraantumista sekä metallien ja keraamien kestävyttä iskumaista termistä kuormitusta vastaan. Vaikka nämä tutkimushankkeet ovat aurinkouunin uutuudesta johtuen vasta alkuvaiheessaan, ovat ne herättäneet kansainvälistä kiinnostusta ja tutkimuksessa on jo mukana useita eurooppalaisia korkeakouluja ja teollisuusyrityksiä.

PSA:n tutkimusalue on varsin laaja eikä sen asiantuntemus riitä kattamaan koko kenttää. Tämän seurauksena tutkimusprojekteihin pyritään keräämään tasokkaita eri alojen kansainvälisiä asiantuntijaryhmiä. Vuoden 1995 alussa PSA ottikin yhteyttä TKK:n Materiaalien muokkauksen ja lämpökäsittelyn laboratorioon (MML) ja tarjosi mahdollisuutta osallistua kansainväliseen, aurinkouunilla tehtävään materiaalien testausohjelmaan. PSA:n tuoma mahdollisuus tehdä suurten pintojen ja näytteiden lämpökäsittelyä lähes täysin vapaasti valittavassa olevalla testausohjelmalla on kiinnostava ja MML onkin mukana uusimmassa, EU:n rahoituksella käynnistettävässä tutkimus- ja koulutusprojektissa "Innovative training horizons in applied solar thermal and chemical technologies".

Materiaalien muokkauksen ja lämpökäsittelyn laboratorion kiinnostus tässä tutkimusprojektissa suuntautuu kahteen osa-alueeseen:



Kuva 1. PSA:n aurinkouunin rakenne kaaviokuvana.
Fig. 1. The schematic presentation of the solar furnace.

kuumamuokkaustyökalujen termisen väsymisen tutkiminen sekä termiset pintakäsittelyt. Asiasta kiinnostuneilla suomalaisilla yrityksillä on vielä mahdollisuus vaikuttaa tämän tutkimusohjelman sisältöön ottamalla pikaisesti yhteyttä MML:ään.

SUMMARY

HEAT TREATMENT WITH SUNBEAMS

Solar furnace is interesting facility for the testing and characterization of materials. Potential applications include also several surface modification methods by using a concentrated solar energy beam. The Plataforma Solar de Almeria (PSA) located in Southern Spain is the largest European test center of solar thermal energy applications. In the beginning of the 95 PSA contacted with the Laboratory of

processing and heat treatment of materials in Helsinki University of Technology (HUT) and suggested that HUT will join to the materials testing research program. This possibility gives quite new kind of testing facilities to HUT and will be used e.g. to evaluate the thermal shock resistance of hot working tool steels.

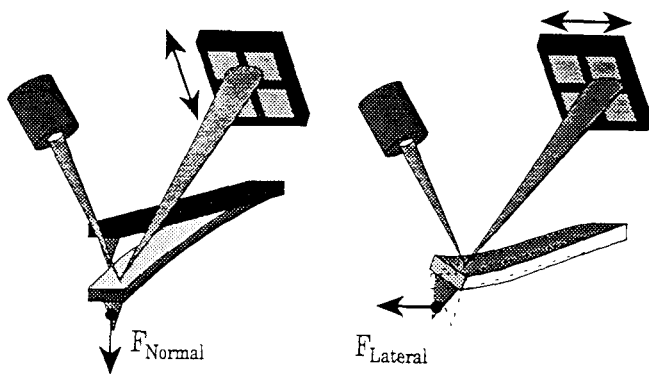
Uusia mikroskopiitekniikoita kehitetään Teknillisessä korkeakoulussa

Tekn. yo. Antti Leijala, DI Ilkka Penttinen ja prof. Antti Korhonen. Materiaalien muokkauksen ja lämpökäsittelyn laboratorio, TKK, Otaniemi

Fysiikan Nobelin palkinnon myöntäminen vuonna 1986 IBM:n Zürichin tutkimuslaboratorion tutkijoille Gerd Binnigille ja Heinrich Rohrerille vauhditti voimakkaasti uusien ns. scanning probe-mikroskopiitekniikoiden kehittämistä. Näissä mikroskoopeissa terävää kärkeä skannataan näytteen pinnalla pietsosähköisesti ja saadaan aikaan kolmiulotteinen kuva kulloinkin haluttavasta pinnan ominaisuudesta kuten topografiasta, kitkasta tai magneettisuudesta.

TUNNELOINTI- JA VOIMAMIKROSKOPIAN TOIMINTAPERIAATTEET

Teknillisen korkeakoulun Materiaalien muokkauksen ja lämpökäsittelyn laboratoriossa on tutkittu pyyhkäisyntunnelointimikroskopiaa (STM) ja pyyhkäisyvoimamikroskopiaa (SFM). STM:ssä mikroskoopin mittauskärjen ja tutkittavan kappaleen välillä kulkee tunnelointivirta ja kärjen pyyhkiessä edestakaisin pintaa, virran vaihteluja mittaamalla saadaan tietoa mm. pinnan topografiasta. SFM on puolestaan yleisnimi, joka pitää sisällään voimia mittaavat mikroskopiitekniikat kuten atomivoimamikroskopian (AFM) ja kitkavoimamikroskopian (LFM). Tutkittava alue voi sekä tunnelointi- että voimamikroskoopeissa vaihdella muutamista nanometreistä satoihin mikrometreihin korkeussuuntaisen erotuskyvyn ollessa jopa atomitasoa. Voimamikroskoopin toiminta perustuu terävään mittakärkeen (kaarevuussäde <math><10\text{nm}</math>), joka on kiinni ohuessa kannattimessa (tyypilliset mitat: $450 \times 10 \times 1.5 \mu\text{m}^3$). Kun kärki tuodaan tarpeeksi lähelle näytettä napsahtaa se staattisten, van der Waalsin yms. voimien vaikutuksesta kiinni pintaan ja mittaus voi alkaa. Kärki pyyhkii piste pisteeltä yli tutkittavan pinnan samalla kun laitteisto mittaa sekä kärjen aseman (x-y -koordinaatit) että siihen vaikuttavat voimat. Mitatun tiedon perusteella mikroskooppi piirtää kolmiulotteisen kuvan pinnan ominaisuuksista. Kärjen liikkeen mittaustekniikkaa on havainnollistettu kuvassa 1. Kun tavanomaisessa AFM:ssä topo-



Kuva 1. Atomi- ja kitkavoimamittauksen periaate. Kärjen liikkeet mitataan kannattimesta heijastuvan lasersäteen avulla.
Fig. 1. The principle of atomic- and lateral force microscopy. The movement of the tip is measured with laser reflecting from the backside of the cantilever.

grafinen kuva muodostetaan seuraamalla laserilla kärjen kannattimen taipumista pinnan normaalin suuntaisesti, mitataan kitkavoimamikroskopiassa sen vääntymistä pinnan suuntaisen kitkavoiman vaikutuksesta. Kitkavoimamikroskopiolla saadaan tietoa pinnan kemiallisesta koostumuksesta sekä alueellisten kitkaominaisuuksien eroista.

Materiaalien muokkauksen ja lämpökäsittelyn laboratorion päämääränä on kehittää mikroskopiitekniikoita metallurgisen tutkimuksen palvelukseen. Tutkimustyön perusteella laboratorio on jo mukana mm. kahdessa Euroopan Unionin Brite-Euram-tutkimushankkeessa.

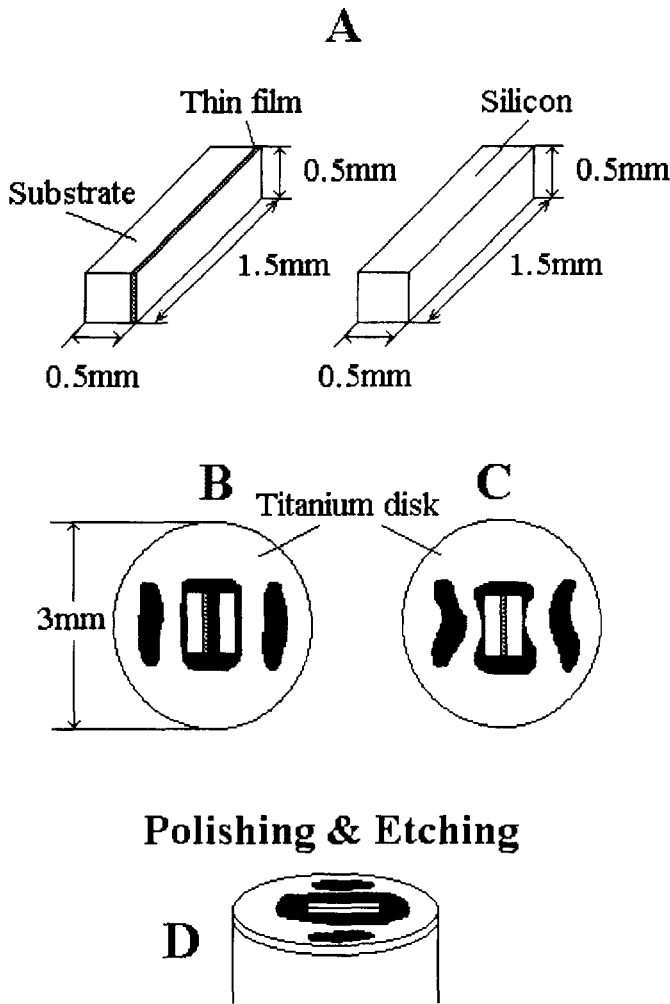
TKK:SSA OHUTKALVOJEN POIKKILEIKKAUSTA VOIMAMIKROSKOPIAA VARTEN

Teknillisen korkeakoulun Materiaalien muokkauksen ja lämpökäsittelyn laboratorioon on yhteistyössä Unkarin tiedeakatemia Teknillisen fysiikan instituutin kanssa rakennettu ionisuihkua hyödyntävä pintojen poikkileikkausnäytteiden valmistuslaitteisto. Ionisuihku korvaa kyseisessä menetelmässä esim. optisessa valomikroskopiassa käytetyn kemiallisen syövytyksen. Tämä menetelmä yhdistettynä voimamikroskopiaan on osoittautunut erittäin käyttökelpoiseksi välineeksi materiaalitutkimuksessa ja sitä on menestyksellisesti hyödynnetty mm. metallurgisten ohutkalvojen rakenteiden analysoinnissa. /1/.

Poikkileikkausnäytteen valmistus /2/ alkaa tasaisen pinnan valmistamisesta. Näytteestä irroitetaan $0,5 \times 0,5 \times 1,5 \text{ mm}^3$ kokoinen pala ja tämä pala liimataan samankokoiseen piiriliskiteeseen niin, että tutkittava ohutkalvo on piitä vasten. Käsittelyn helpottamiseksi käytetään pientä titaanikiekkoa, joka sitoo ja tukee paloja jatkokäsittelyjen ajan (katso kuva 2). Liiman kuivuttua suoritetaan mekaaninen hiominen ja kiilloitus, ensin vesihiontapapereilla ja lopuksi $1 \mu\text{m}$:n timanttipastalla. Tämän jälkeen titaanikiekko näyte- ja piipaloineen asetetaan ioniohenteeseen, jossa sitä pommitetaan argonioneilla pienestä kulmasta ($\sim 3^\circ$) samalla kun kiekko pyörii akselinsa ympäri. Pommitusta jatketaan, kunnes pii erilliskiteenä on kiilloittunut lähes atomaarisen tasaiseksi. Seuraavana vaiheena näytettä pommitetaan piin suunnasta siten, että piissä oleva pinnantasaisuus laajenee hiljalleen ohutkalvoon ja lopulta substraattimateriaaliin. Tämän vaiheen lopputuloksena saadaan erittäin tasainen poikkileikkausnäyte ohutkalvosta. SFM-tutkimukset perustuvat kuitenkin suurelta osin topografian tutkimiseen. Tähän tarkoitukseen sopiva pinta aikaansaadaan, kun näytettä pommitetaan ionisuihkun tulokulma nostetaan lopuksi noin 25 asteeseen, minkä seurauksena näytteen pinta alkaa etsaantua. Syöpymisnopeus vaihtelee paikallisesti pinnan kemiallisten koostumuksien mukaisesti ja tämän näytteenvalmistuksen viimeisen vaiheen tuloksena saadaan poikkileikkausnäyte, jossa erittäin tasaiseen pintaan on syöplynyt mikro- tai nanorakenteen mukainen topografia.

Vaikka yllä esitetyssä korostetaan menetelmän sopivuutta poikkileikkausnäytteiden valmistamiseen, on sitä vähäisin muutoksin hyödynnetty monien muidenkin, rakenteeltaan erityisen hienojakoisten näytteiden valmistuksessa.

Seuraavassa esitellään esimerkinomaisesti muutamia tuloksia, jotka osoittavat tämän tekniikan käyttökelpoisuuden metallurgisten näytteiden ja ennen kaikkea ohutkalvojen tutkimuksessa.



Kuva 2. SFM-poikkileikkausnäytteen valmistusvaiheet /2/.
Fig. 2. Schematic view of the arrangement of samples in the sample holder in preparing cross-sectional samples for SFM.

Kuvassa 3 on TiN-pinnoitettu työkalu, jonka teräsperusaineessa näkyy selvä martensiittinen rakenne. Kuten kuvasta näkyy, martensiittisen rakenteen tutkiminen on mahdollista myös aivan pinnoitteen läheisyydessä. Martensiitin lisäksi materiaalin perusaineessa saattaa olla muita faaseja kuten karbideja. Esimerkki karbideista nähdään kuvassa 4, jossa näkyy kromikarbidiin jakautuminen perusaineessa. Kappaleen pinnalla on ohutkalvo, jonka paksuudeksi mitattiin n. 500 nm.

Pinnoitus ja sitä edeltävät käsittelyt vaikuttavat aina perusaineeseen, mutta muutoksia voi olla vaikea havaita päältäpäin tarkasteltaessa. Tarkasteltaessa poikkileikattuja näytteitä voimamikroskooppilla pystytään kuitenkin havaitsemaan mm. mikrohalkeamia ja rajakerroksen epämuodostumia kuten kuvat 5 ja 6 osoittavat. Myös pinnoituksen paksuuden vaihtelut on helppo havaita tätä teknologiaa käyttäen. Koska ionipommitus syövyttää eri aineita eri nopeuksilla voi myös kerrospinnoitteiden laatua ja homogeenisuutta tutkia.

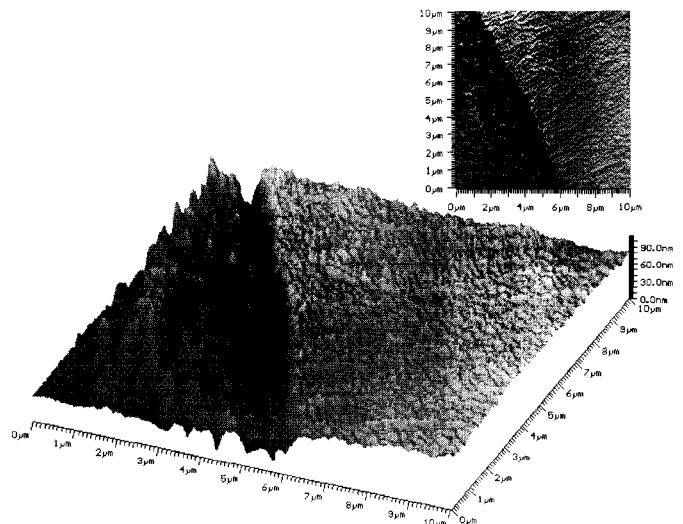
Poikkileikkauspinnoitusten tutkiminen on vain pieni osa Materiaalien muokkauksen ja lämpökäsittelyn laboratorion SFM-tutkimuksista. Kuvassa 7 on, esimerkkinä tavallisemmasta pintojen topografian tutkimisesta, epäjatkokuvan erkautumisen rintama. Kyseisessä näytteessä on käytetty seosta Cu-3,8% Cd ja esikäsitellynä kemiallista syövytystä.

SFM-TUTKIMUKSIA MYÖS MUIDEN TIETEIDEN ALUEILLA

Jo nyt lukemattomilla aloilla tieteessä ja teollisuudessa näitä tekniikoita käytetään pintojen karakterisointiin, analysointiin ja mittauk-



Kuva 3. AFM-kuva poikkileikatusta TiN-pinnoitetusta työkaluteräksestä. Perusaineen martensiittinen rakenne näkyy kuvassa.
Fig. 3. Atomic force micrograph of TiN coated tool steel. The martensitic structures of the substrate are clearly visible.



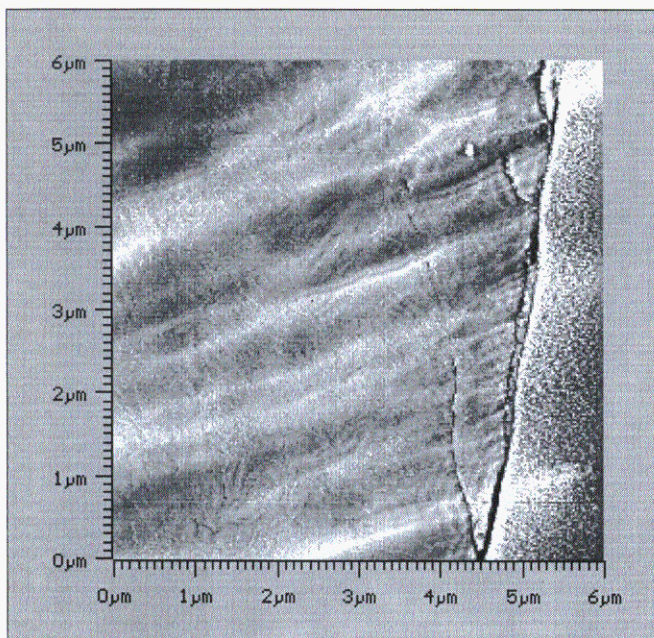
Kuva 4. AFM-kuva poikkileikatusta TiN-pinnoitetusta terästyökalusta. Kromikarbidiin jakauma on selvästi esillä. Tasainen osa oikealla puolella on piitä.

Fig. 4. Atomic force micrograph of TiN coated tool steel. Presentation shows a substrate with chromium carbides on the left side and silicon piece on the right side.

siin. Materiaalien muokkauksen ja lämpökäsittelyn laboratoriossa TKK:ssa mikroskopiaa on metallurgian lisäksi sovellettu mm. mikroelektroniikkaan, polymeeritekologiaan, sellukuituihin, bakteereihin ja pinnankarheuteen liittyviin tutkimuksiin. Kitkamikroskopia on mahdollistanut myös nanotribologisten ominaisuuksien tutkimuksen.

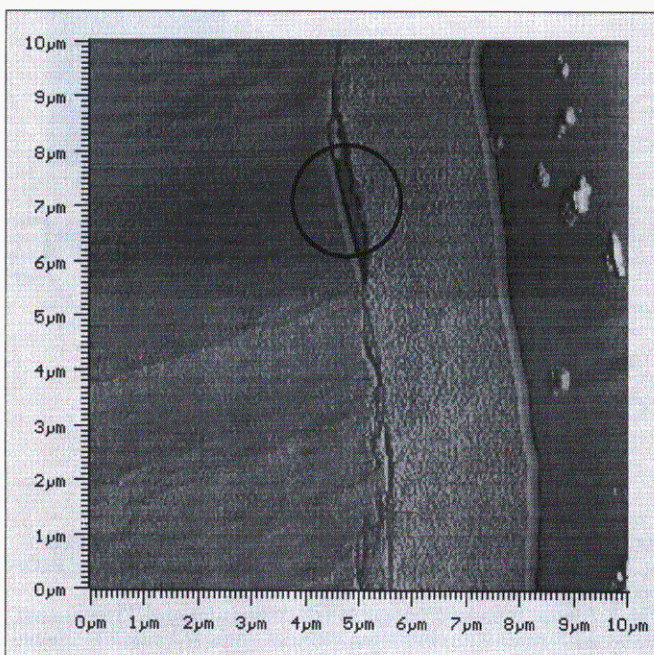
KANSAINVÄLISTÄ YHTEISTYÖTÄ

Keväällä 1995 laboratorio järjesti aihepiiristä seminaarin, johon osallistui yli 70 henkilöä korkeakouluista, tutkimuslaitoksista ja teollisuudesta kymmenestä Euroopan maasta. Esielmien aiheet ulottuivat puolijohdefysiikasta ja ultrakorkean tyhjän sovellutuksista AFM:n



Kuva 5. AFM-kuva poikkileikatusta TiN-pinnoitetusta terästyökaluksista. Mikrohalkeamat perusmateriaalissa pinnoitteen alla saadaan esille 3D-kuvankäsittelyohjelmilla.

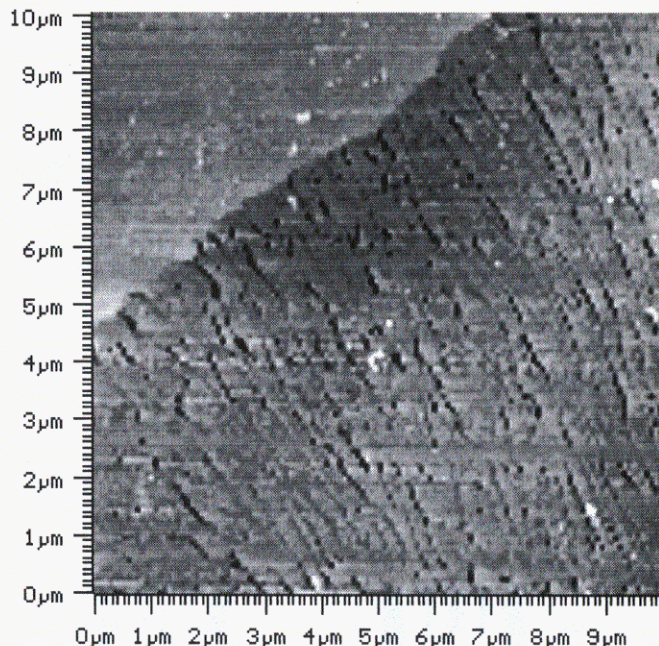
Fig. 5. Atomic force micrograph of TiN coated tool steel. Filtering with 3D image processing software reveals microcracks underneath the coating.



Kuva 6. AFM-kuva poikkileikatusta TiN-pinnoitetusta terästyökaluksista. Pinnoitteen paksuutta ja rajapinnan laatua pystytään tarkkailemaan.

Fig. 6. Atomic force micrograph of TiN coated tool steel. Determination of the coating thickness and cracks at the interface.

instrumentointiin, kaupallisiin laitteisiin, AFM:n teoriaan, matalien lämpötilojen sovellutuksiin sekä biologiaan. Avausartikkelin piti professori Roland Wiesendanger Hampurin yliopistosta. Esitelmän aihe käsitteli nanorakenteita, -mekaniikkaa, -magnetismia ja -elektroniikkaa. Hän on ollut mikroskopiakäytännön tutkimisessa mukana lähes niiden syntymästä asti ja monien artikkelien lisäksi hän on kirjoittanut aiheesta kirjan /3/, jossa esitellään STM- ja AFM- tekni-



Kuva 7. AFM-kuva epäjatkuvan erkautumisen rintamasta Cu - 3.8% Cd seoksessa.

Fig. 7. Atomic force micrograph of a front of a discontinuous precipitation of Cu - 3.8% Cd sample.

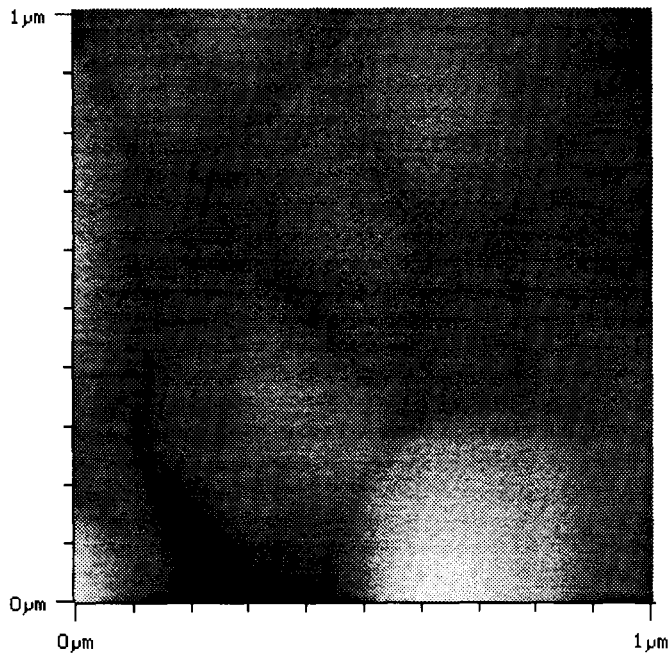
koita sekä STM-spektroskopiamenetelmiä. Wiesendangerin työssä nimenomaan STM-menetelmä on ollut etusijalla. Nanomekaniikkaan ja kitkaan liittyvänä esimerkkinä Wiesendanger käsitteli mahdollisuutta vähentää kitkaa muodostamalla monomolekulaarinen fullereenikerros kappaleen pinnalle. Tällöin C_{60} -molekyylit toimisivat kuin pienet kuulalaakerin kuulat ja vähentäisivät kitkaa toisiaan hankaavien kappaleiden kosketuksessa. Kokeissa on voitu todeta kitkan vähentyneen pinnoitettaessa esim. GeS-näytteitä fullereenikerroksella. Magnetismiin perustuvien mikroskopiasovellutusten avulla on voitu selvittää mm. magneettisten alkeisalueiden muotoa ferriiteissä. Nanoelektroniikassa mielenkiinnon kohteena ovat puolestaan erilaiset litografia-sovellutukset. Nanolitografiassa haluttuja kuvioita voidaan muodostaa pintaa raapimalla tai pieniä partikeleita, jopa yksittäisiä atomeja, siirtämällä. Seminaarissa DI Ilkka Penttinen esitteli TKK:n SFM-tutkimuksia poikkileikatusta pinnoitteista /1/.

KITKAVOIMA- JA NANOKOVUUSMITTAUKSISSA SUOMALAIS-SVEITSILÄISTÄ YHTEISTYÖTÄ

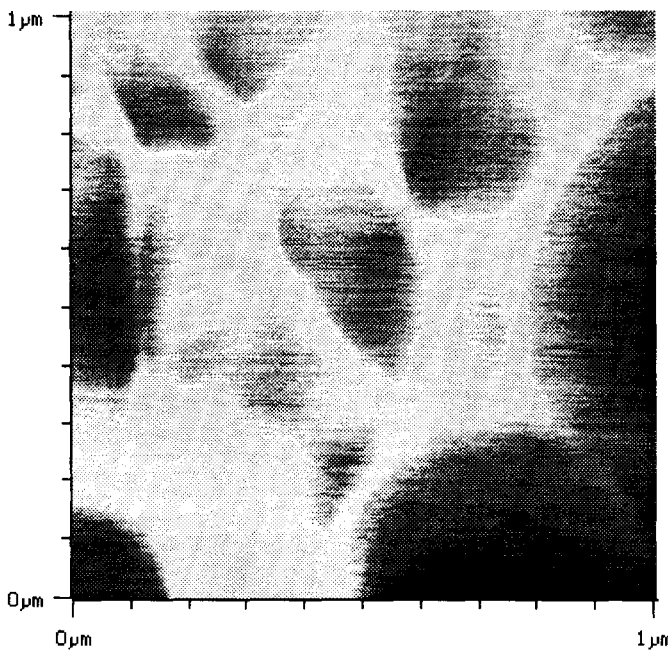
Dr. Rainer Christoph Sveitsin elektroniikan ja mikrotekniikan tutkimuslaitoksesta (CSEM, Neuchâtel) kertoi seminaarissa heidän kehittämästä Atomic Scale Tribometer-laitteesta /4/. Tämä yhdistetty atomi- ja kitkavoimamikroskoopi on erikoisesti suunniteltu kitkan mittaamiseen ja nestekenoissa työskentelyyn. Ennen CSEM:lle siirtymistään Christoph työskenteli nobelisti Rohrerin ryhmässä IBM:llä tutkien voimamikroskooppien toimintaa nestekenoissa. Hän keskittyi esityksessään erityisesti kitkavoimamikroskopiaan sekä AFM:n yhteydessä pienillä voimilla tehtäviin ns. nanokovuusmittauksiin.

Esimerkkinä kitkavoimamikroskopiasta esitetään oheisena kaksi Teknillisessä korkeakoulussa otettua kuvaa halkileikatusta Nb/Ti-suprajohteesta (kuva 8). Tällaisessa ns. II-tyyppin johteissa pyritään rakenteeseen, jossa suprajohtamatonta faasia esiintyy tasaisesti jakautuneina hienojakoisina erkaumina suprajohtavassa matriisissa. Kuvassa 8a) on esitetty normaali voimamittaukseen perustuva topografinen kuva, josta näkyy vain erilaisia pinnan kohoumia. Sen sijaan kitkavoimamittaus (kuva 8b) paljastaa rakenteen, joka muodostuu tummemmista Ti-rikkaista erkaumista vaaleammassa suprajohtavassa NbTi-matriisissa. Kyseisessä esimerkissä suprajohteen faasijakauma ei ole riittävän homogeeninen ja hienojakoinen.

Teknillinen korkeakoulu ja CSEM tutkivat parhaillaan yhteistyössä voimamikroskopian ja nanokovuusmittausten soveltamista poik-



a) Topographic image

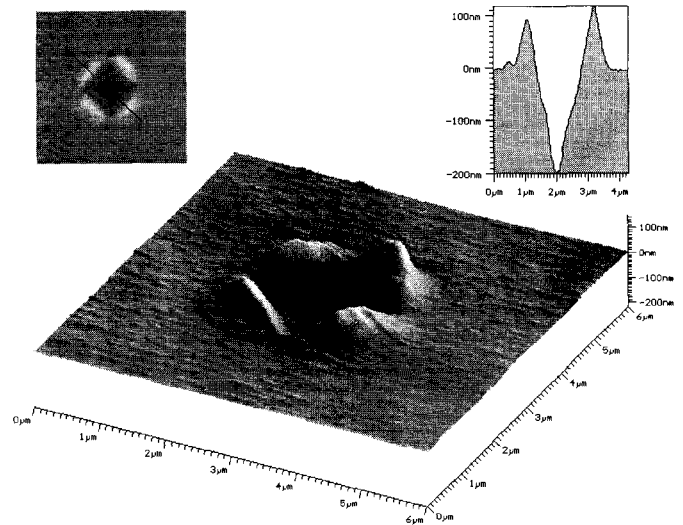


b) Friction image

Kuva 8. SFM-kuvia NbTi-suprajohteesta. a) Topografinen kuva, jossa korkeus (z) on noin 90nm. b) Kitkavoimakuva, jossa vaalea symbolisoi korkeaa kitkaa.

Fig. 8. Scanning force micrograph of NbTi-superconductor. a) Topographic image where the total height (z) is about 90nm. b) Friction force image, where light symbolises high friction.

kileikattujen pintojen tutkimiseen. Sveitsiläisten kehittämällä laitteella on mahdollista mitata näytteestä myös pinnan nanokovuus siirtämällä näytettä < 1μm:n tarkkuudella nanokovuusmittarin ja edellä mainitun Atomic Scale Tribometerin välillä. Tyypillinen voima, jolla timanttikärki painetaan näytteeseen on 10μN-40mN. Tällä tekniikoiden yhdistämisellä on mahdollista saada lisäinformaatiota pinnan rakenteesta ja kovuudesta sekä sen plastisesta tai elastisesta ominaisuudesta. Voimamikroskopian yhdistäminen kovuusmittauksiin mahdollistaa syntyneen painauman muotojen, pinta-alojen ja tilavuuksien tarkan tutkimisen ennen kovuusmittausta ja sen jälkeen (kuva 9). Tämä on tärkeää tulosten toistettavuuden ja siten luotettavuuden kannalta. Tämän yhteistyön tavoitteena on saada uusi teknologia hyödynnetyksi poikkileikkattujen ohutkalvojen tutkimuksessa.



Kuva 9. AFM-kuva kultapinnoitettuun pii-näytteeseen tehdystä nanokovuus-mittauksesta, jossa näytettä painettiin 8mN:n voimalla. Huomattava materiaalin nouseminen vaikuttaa nanokovuuden ja elastisuuden mittauksiin. (Kuvan omistaa Centre Suisse d'Electronique et de Microtechnique, CSEM, Sveitsi).

Fig. 9. AFM-image of gold film on silicon substrate. The loading force of the nanoindentation was 8mN. Considerable pile-up due to the plastic flow effects the nanohardness and elasticity measurements. (Image courtesy of Centre Suisse d'Electronique et de Microtechnique, CSEM, Switzerland)

SUOMALAISET JA ITÄVALTALAISET KEMISTIT TUTKIVAT ATOMIKERROSEPITAKSIAA

Useissa seminaarin esitelmissä tarkasteltiin atomikerrosepitaksiaa (ALE) ja atomivoimamikroskopian soveltamista sen tutkimuksessa. Suomessa aktiivisia tutkimusyksiköitä ovat TKK:n epäorgaanisen ja analyttisen kemian laboratorio ja Helsingin yliopiston Kemian laitos, jotka ovat tehneet tutkimustyötä yhteistyössä Wienin teknillisen korkeakoulun kanssa /3/. Helsingin yliopistossa tehdystä työstä seminaarissa kertoi FT Mikko Ritala. Tutkimuksen kohteena olivat olleet mm. TiO₂-, Al₂O₃- ja ZnS-kalvot sekä Ge-Sn-systeemit. Tapio Kannianen Helsingin yliopistosta puolestaan kertoi ns. SILAR-menetelmästä, jossa sopivaan nesteeseen useita kertoja kastamalla voidaan kasvattaa monikerroksisia ohutkalvoja. Jatkona tälle, Thomas Prohaska Wienin teknillisestä korkeakoulusta tarkasteli esimerkkinä SILAR-menetelmän soveltamista ZnS-kalvojen ja AlGaAs/GaAs-monikerroskalvojen kasvatukseen ja esitti tuloksia kalvoista tehdyistä STM-tutkimuksista.

TKK:n Epäorgaanisen ja analyttisen kemian laboratorio tekee tutkimusta myös yhteistyössä Materiaalien muokkauksen ja lämpökäsittelyn laboratorion kanssa. DI Mikko Utriainen TKK:n Kemian tekniikan laitokselta kertoi omasta työstään, ja esitti teorian, jolla kärjen muodon vaikutus pinnan karheuteen pystytään arvioimaan. Jotta kuva olisi tarkka ja todenmukainen, kärjen pyöristyssäteen tulee olla riittävän pieni (~10nm). Näitä teräviä pii-kärkiä käytetään yleisesti ja pinnankarheuden R-arvojen tarkkuudessa päästään 1nm alapuolelle. Mitatut pinnankarheusarvot eivät ole luonnollisestikaan suoraan verrattavissa perinteisillä pinnankarheusmittauksilla saatuihin lukuihin. Syynä on mittakärkien suuri kokoero ja erilainen mittaustekniikka. Normaleissa pinnankarheusmittauksissa kärjen pyöristyssäde on luokkaa 2μm eli noin 500-kertainen. Myös mittausalue on AFM:ssä yleensä paljon pienempi ja se muodostuu alueesta yhden viivan sijasta. AFM-tekniikan käyttöä pinnankarheusmittauksiin selvitellään parhaillaan eri puolilla maailmaa /5/.

SCANNING PROBE-TEKNIKAT LEVIÄVÄT TKK:SSA

Teknillisen korkeakoulun Fysiikan laitokselle hankittiin kaksi vuotta sitten oma yhdistetty STM/AFM. Professori Pekka Hautojärven laboratoriossa toimii kolmen hengen tutkimusryhmä, jonka työstä kertoi

seminaarissa DI Markus Levlin. Hän on omassa työssään tutkinut elohopean adsorpoitumista kullan (111) tasolle. TKK:n fysiikan laitoksen mikroskoopissa on erityisesti varmistettu, etteivät värähtelyt haittaa tutkimusta. Tämä on tärkeää, jos halutaan tehdä tutkimusta atomitasolla. Värähtelyjen vaimentamiseksi laite on sijoitettu massiivisen kivilaatan päälle, joka puolestaan on ripustettu jousilla kattoon. Välttämätöntä kyseiset varoitimet eivät kuitenkaan SFM-työskentelylle ole. Esimerkiksi Materiaalien muokkauksen ja lämpökäsittelyn laboratoriossa mikroskooppi on sijoitettu tavalliselle työpöydälle tavalliseen huoneeseen. Tällöin ulkopuoliset värähtelyt saattavat toisinaan aiheuttaa häiriöitä, mutta kokemuksiemme mukaan hyvin harvoin. Teknilliseen korkeakouluun on viime vuoden aikana hankittu edellisten rinnalle kaksi muuta AFM-laitetta. Toinen on sijoitettu TKK:n Sähkötekniikan osaston Optoelektronikan laboratorioon, jossa tutkimustyötä johtaa apulaisprofessori Turku Tuomi ja toinen professori Vesa Penttalan johtamaan Rakennus- ja maanmittaus-tekniikan osaston Betonitekniikan laboratorioon.

VOIMAMIKROSKOPIA KORVAAMASSA PERINTEISIÄ PINTATUTKIMUSTEKNIIKOITA

Yhteenvetona voidaan todeta että SFM-tekniikat ovat jo arvokas apuväline monilla eri aloilla. Siitä on selvästi muodostumassa oma mikroskopiakseen, joka tarjoaa useita selviä etuja esimerkiksi perinteisiin pyyhkäisyelektronimikroskopiaan (SEM) ja läpivalaisuelektronimikroskopiaan (TEM) verrattuna.

SFM:n resoluutio on atomitasoa ja mitattava alueen sivun pituus voi vaihdella muutaman nanometrin ja noin 120 mikrometrin välillä eli yksittäisistä atomeista silminnähtäviin alueisiin. Erillistä näytteenvalmistusta ei tarvita ja menetelmällä pystytään tekemään mittauksia normaalissa huoneilmassa tarvitsematta viedä näytettä tyhjään. Mittaus ei pienten voimien ($\sim 10^9$ N) takia muokkaa eikä muovaa pintaa ja näin ollen lähes kaikkia materiaaleja voidaan tutkia. Kun vielä huomioidaan että mittaus vie aikaa vain muutaman minuutin ja tuloksena on kolmiulotteinen kuva pinnan ominaisuuksista, on selvää että ko. laitteilla ja tekniikoilla on lupaava tulevaisuus edessään.

Pinnankarheuden tutkimukseen on voimamikroskoopeista saatu uusi luotettava menetelmä, jonka avulla saadaan karheusarvot pinta-alasta yhden viivan sijasta ja samanaikaisesti saadaan kolmiulotteinen kuva pinnasta. Juuri kolmiulotteinen esitys pinnan todellisista muodoista onkin näiden mikroskooppien suurin valtti, sillä liikuttaessa valon aallonpituutta pienemmissä mitoissa ei muita menetelmiä, joilla on samat ominaisuudet, vielä tunneta.

KIRJALLISUUS – REFERENCES

1. *A. Leijala, I. Penttinen, M. Utriainen and A.S. Korhonen*, Scanning Force Microscopy of Cross-sectioned Thin Films and Structures. *Frontiers in Nanoscale Science for Micron/Submicron Devices*. NATO Advanced Study Institute Workshop. August 16 - 27, 1995. National Taras Shevchenko University, Kiev, Ukraine.
2. *K. A. Pischow, A. S. Korhonen, M. Adamik and P. B. Barna*, Ion beam etching technique in the preparation of samples for cross-sectional microscopy studies of thin films and hard coatings, *Surface and Coatings Technology* **67** (1994) 95-104.
3. *R. Wiesendanger*, *Scanning Probe Microscopy and Spectroscopy*, Cambridge University Press, 1994, 637s.
4. *M. Binnig, R. Christoph, H.E. Hintermann and O. Marti*, Atomic Scale Tribometer for Friction Studies in Controlled Atmosphere, *Surface and Coatings Technology* **62** (1993) 523-528.
5. *K. Carneiro, C. P. Jensen, J. F. Jørgensen, and J. Garnoes*, Roughness Parameters of Surfaces by Atomic Force Microscopy. *Annals of CIRP* **44** (1995) 1, 517-522.

SUMMARY

NEW MICROSCOPE TECHNIQUES DEVELOPED AT HELSINKI UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

At the Laboratory of processing and heat treatment of materials new scanning probe microscope techniques have been used for materials characterization. Atomic force microscopy (AFM) and lateral force microscopy (LFM) together with new cross-sectional sample preparation procedure have been utilised to investigate micro- and nanostructural features of several materials like micro- alloyed steels, ceramic thin films and superconductors. New applications like nano-hardness measurement techniques have also been investigated. At the beginning of the year 95 Laboratory organised an international seminar on scanning probe techniques in surface engineering, which gathered more than 70 research colleagues from ten European countries.

Ympäristönäkökohtien merkitys louhintalaitteita valmistaville yrityksille

DI Antti Kalliokoski, Tampereen teknillinen korkeakoulu, Turvallisuustekniikka, Tampere

YMPÄRISTÖSELVITYKSEN TAUSTAA

Elokuussa 1995 valmistui Tamrock Drillsin yhteistyössä Tamrock Loadersin, Nordberg-Lokomon ja Normetin kanssa rahoittama Antti Kalliokosken diplomityö "Ympäristönäkökohtien merkitys louhintalaitteita valmistaville yrityksille". Työ tehtiin Tampereen teknillisen korkeakoulun turvallisuustekniikan laitokselle ja sen valvojana toimi professori Markku Mattila.

Työssä mielenkiinnon kohteena olivat louhintalaitteita valmistaville yrityksille merkittävät ympäristöasiat. Tarkoituksena oli selvittää tärkeimpien markkina-alueiden ympäristölainsäädännön ja normien asettamia vaatimuksia ja tarpeita louhintalaitteiden valmistajille, mistä nämä vaatimukset tulevat, miten vaatimukset tulevat kehittyvän ja arvioida ympäristötekijöiden merkitystä louhintalaitteiden valmistajien kannalta. Yhtenä tavoitteena oli myös luoda yhteysverkko, jonka kautta tietoa voi myöhemmin hankkia ja ylläpitää.

Työssä selvitettyjä aihealueita olivat ympäristöasioiden hallintajärjestelmät, melu, pöly, dieselpakokaasut, bioöljyt ja -polttoaineet, ympäristöystävälliset maalit, louhintamenetelmät sekä betonointiin ja betonin lisäaineisiin liittyvät säädökset. Tutkimus kohdistui osallistujayritysten tärkeimmille markkina-alueille:

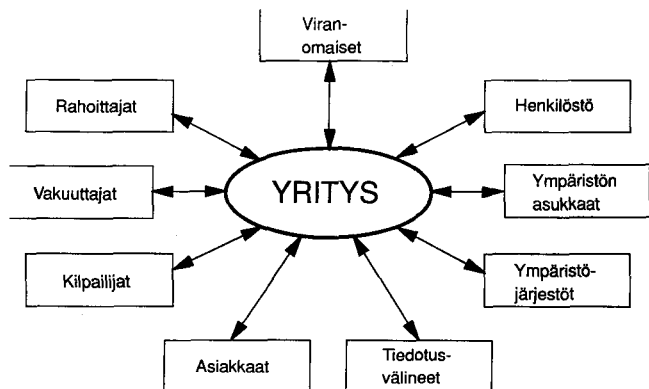
- EU:n alue (case Saksa),
- Pohjois-Amerikka (USA ja Kanada)
- Australia,
- Eteläinen Afrikka (Etelä-Afrikka, Zimbabwe, Sambia) ja
- Kaukoitää (Japani, Kiina, Etelä-Korea ja Hongkong).

JOHDANTO

Ympäristöön ja ympäristönsuojeluun liittyvät asiat ovat myötätulessa maailmalla. Ympäristösäädöksiä tulee jatkuvasti lisää ja ne tiukentuvat. Kansainvälisessä liiketoiminnassa, jossa suomalaiset louhintalaitteiden valmistajatkin ovat mukana, eri markkina-alueiden ympäristösäädökset vaihtelevat suuresti ja tämä tekee säädöksissä mukana pysymisen yhä hankalammaksi ja monimutkaisemmaksi. Kaivosyhtiöille, koneurakoitsijoille ja muille louhintalaitteiden käyttäjille on monissa maissa asetettu tiukkoja säädöksiä, jotka laitteiden tulee pystyä täyttämään. Esimerkiksi kaivosyhtiöiltä vaaditaan systemaattista ympäristöasioiden hallintaa ja kaivosten ympäristövaikutusten minimoimista. Suuria hankkeita käynnistettäessä tarvitaan usein selvitys hankkeen ympäristövaikutuksista. On esimerkkejä hankkeista, joista on jouduttu luopumaan niiden aiheuttamien ympäristöongelmien takia. EU:ssa on otettu tiukka linja ympäristöasioiden hoidossa ja näihin vaatimuksiin on myös suomalaisten sopeuduttava. Suomessa määräyksiä ympäristövaikutuksiltaan merkittävien uusien hankkeiden ympäristövaikutusten arvioinnissa antaa YVA-asetus. Asetus on EU:n säädösten mukainen ja siinä määritellään ne hanke-tyypit, joita käynnistettäessä on käytävä asetuksen mukainen ympäristövaikutusten arviointimenettely läpi. Tällaisia arvioiteja tehdään myös muualla maailmassa. Ympäristöasioista on tullut yksi markkinoilla vaikuttavista tekijöistä, joita on syytä seurata. Ympäristölakien ja muiden säädösten tunteminen auttaa laitevalmistajia paremmin huomioimaan asiakkaiden tarpeet nyt ja tulevaisuudessa.

YMPÄRISTÖVAATIMUSTEN LÄHTEET

Ympäristöasioihin kohdistuvat vaatimukset ovat aiemmin tulleet lähinnä erilaisten lakien ja säädösten kautta viranomaisilta. Nämä normit ovat edelleenkin tärkein ympäristövaatimusten lähde, mutta se mistä jokin vaatimus saa alkunsa ja mitä kautta vaatimus esitetään yritykselle ei ole enää niin yksinkertaista. Yrityksellä on viranomais-ten lisäksi myös muita sidosryhmiä, jotka osin suoraan, osin keskinäisen vuorovaikutuksen kautta vaikuttavat yrityksille esitettyihin ympäristövaatimuksiin. Kuvassa 1 on esitetty yrityksen ympäristöasioista kiinnostuneet sidosryhmät.



Kuva 1. Yrityksen ympäristöasioista kiinnostuneet sidosryhmät.
Fig. 1. Groups interested in environmental protection of an enterprise.
/1/, /2/

Sidosryhmien asenteet ympäristönsuojelukohtaan ovat muuttuneet yhä myönteisimmiksi. Sidosryhmistä luonnonsuojelujärjestöt, tiedotusvälineet, ympäristön asukkaat, asiakkaat ja viranomaiset mielletään ehkä tavallisimmin yrityksen ympäristöasioihin vaikuttajiksi. Kilpailijoiden vaikutus tulee kuvaan mukaan, kun ympäristöasioista tulee kilpailukeino, jolla voidaan saavuttaa kilpailuetua. Myös vakuuttajat ja rahoittajat ovat alkaneet kiinnostua yrityksen ympäristöriskien hoidosta. Niiden kiinnostuksen kasvu perustuu lähinnä tiukkeneviin vastuusäädöksiin ja ns. ankan vastuun periaatteeseen, jonka mukaan vastuu voi tietyissä tapauksissa siirtyä myös muille kuin vahingon suoranaisesti aiheuttaneelle. Yrityksen henkilöstö on ryhmä, jolla tulevaisuudessa on yhä enemmän kiinnostusta yrityksensä ympäristöasioihin.

YMPÄRISTÖJOHTAMINEN

Pystyäkseen vastaamaan sidosryhmiensä tiukentuviin ja monimutkaistuviin ympäristövaatimuksiin on yritysten löydettävä uusia toimintamalleja, joiden avulla ympäristöasiat voidaan tunnistaa ja

ottaa huomioon yhä paremmin ja kokonaisvaltaisemmin. Yritysten reagoinnissa on ollut havaittavissa kehitystä oma-aloitteisempaan ja ennakoivampaan suuntaan, jolloin niillä on mahdollisuus päästä myös vaikuttamaan markkinoilla tapahtuvaan kehitykseen. Tällöin yritykset hoitavat itse vapaaehtoisesti omat ympäristöasiansa ja pyrkivät integroimaan ympäristöasioiden hoidon mukaan kaikkeen yrityksen toimintaan. Ympäristöasioiden hoidon järjestelmällistä kytkemistä kiinteäksi osaksi yrityksen päätöksentekoa ja suunnittelua kutsutaan ympäristöjohtamiseksi.

Ympäristöjohtamisen avuksi on olemassa tai osin kehitteillä erilaisia työkaluja. Tällaisia ovat ympäristöasioiden hallintajärjestelmät, ympäristöauditoinnit, tuotteiden elinkaariarviointi, ympäristöriskien hallinta, ympäristövaikutusten arviointi ja ympäristönsuojelun tason arviointi-indikaattorit. Näiden työkalujen standardointi on käynnissä, mutta yhdenmukaisten mallien tekemisessä on vielä paljon työtä. Myös ulkoisten ympäristövaatimusten selvittämistä esimerkiksi markkinatutkimusten avulla voidaan pitää ympäristöjohtamisen työkaluna.

EU:ssa pyritään nykyisin pelkkien normien luonnin sijasta markkinalähtöisempään ympäristöasioiden hoitoon, jolloin yritykset ryhtyisivät vapaaehtoisesti luomaan ympäristöjärjestelmiä markkinoiden toimintamekanismien vaikutuksesta. Huhtikuun alussa 1995 astui voimaan yrityksen sisäistä, vapaaehtoista ympäristöasioiden hallintaa koskeva Eco-Management and Audit Scheme eli EMAS-asetus. Sen tarkoituksena on kannustaa yrityksiä ympäristönsuojeluun ja tehdä siitä kannattavampaa toimintaa. Työkaluina EMAS:issa ovat ympäristöpolitiikkojen, ohjelmien ja hallintajärjestelmien kehittäminen; järjestelmän toimivuuden systemaattiset, säännölliset ja puolueettomat arviot; sekä tiedottaminen julkisuuteen ympäristönsuojelutoimenpiteistä ja niiden tuloksista.

YMPÄRISTÖASIOIDEN HALLINTAJÄRJESTELMÄT

EMAS:in vaatimuksissa yhtenä osa-alueena on ympäristöasioiden hallintajärjestelmän luominen. Tällä hetkellä laajimmalle levinnyt ympäristöjärjestelmästandardi on BS 7750 (British Standard 7750), jonka mukaisia ovat esimerkiksi kaikki Suomessa myönnetty ympäristösertifikaatit. Myös kansainvälisessä standardisointijärjestö ISO:ssa ollaan pitkällä ympäristöasioiden hallintajärjestelmän standardisoinnissa ja vuoden tai parin sisällä on odotettavissa ISO 14 001 ympäristöstandardi. Ympäristöasioiden hallintajärjestelmät ovat rakenteeltaan pitkälti samanlaisia ja rakennetun järjestelmän täydentäminen myöhemmin toiseksi on suhteellisen helppoa. Myös ISO 9000 -sarjan laatujärjestelmien ja edellä mainittujen ympäristöjärjestelmien perusrakenne on samanlainen ja niissä pyritään monilta osin yhteneviin päämääriin ja niinpä toimivan laatujärjestelmän päälle voidaan kohtalaisen helposti rakentaa ympäristöjärjestelmä. Ympäristöasioiden hallintajärjestelmän sertifiointi ei aina ole välttämätöntä, vaan siitä on hyötyä lähinnä, kun halutaan parantaa yrityksen ympäristöimagoa sidosryhmiin päin tai osoittaa ympäristötoiminnan taso esimerkiksi viranomaisille.

Ympäristöasioiden järjestelmällinen hallinta tuo yritykselle oikein hoidettuna kustannussäästöjä ja pienentää ympäristöriskkejä. Ympäristönsuojelulla on myös vaikutusta yrityksen imagoon ja sidosryhmäsuhteisiin, joiden molempien rahallista arvoa on vaikea arvioida. Arvo voi olla joskus hyvinkin huomattava. Toisaalta ympäristöasioiden hallinta aiheuttaa aina myös kustannuksia, jotka huolella toimitaessa useimmiten kompensoituvat saatavien säästöjen ja muiden hyötyjen ansiosta.

MARKKINATUTKIMUKSEN KESKEISET TULOKSET

Ympäristöasioiden merkitys on kasvanut kaikkialla maailmassa ja ympäristöstandardit, ympäristövastuusäädökset, lupamenettelyt ym. ovat yleistymässä joka puolella. EU, USA ja joissakin asioissa myös Kanada näyttävät olevan ympäristösäädösten suhteen tiennäyttäjiä, joiden menettelytavat leviävät ympäri maailman. Tutkituista alueista myös Australiassa ympäristöasiat olivat vahvasti esillä ja säädöstaso lähestyy johtavien alueiden tasoa. Aasian maat ovat lainsäädännön tasossa, ehkä Japania lukuunottamatta, ja ennenkaikkea käytännön soveltamisessa joiltakin osin jäljessä länsimaista. Joidenkin säädösten

osalta esiintyy kyllä hyvinkin tiukkoja normeja. Japani on Aasian alueen suunnannäyttävä ja sen normeja sekä säädöksiä kannattaa seurata. Etelä-Afrikassa suuntaus on selkeästi kohden länsimaista ympäristönsuojelun tasoa, josta vielä nyt ollaan jonkin verran jäljessä. Zimbabwe seurailee pitkälti Etelä-Afrikkaa ja näyttää olevan hiukan jäljessä säädösten yleiseltä tasolta.

Ajateltaessa ympäristösäädösten kehitystä yleisellä tasolla, on seuraavansuuntaisia trendejä havaittavissa. Yhteistyö ympäristöasioissa yritysten ja sen sidosryhmien välillä tulee tiivistymään ja pyritään yhdessä löytämään ratkaisuja ympäristöongelmiin. Ympäristövaikutuksia ryhdytään yhä suuremmissa määrin arvioimaan tuotteen koko elinkaaren ajalta ja kumulatiiviset ympäristövaikutukset huomioidaan paremmin. Yritykset joutuvat vastaamaan tuotteen ympäristövaikutuksista ja mahdollisesti myös epäsuorasti yrityksen toiminnasta johtuvasta saastumisesta. Päästöstandardit ja -rajat perustuvat parhaaseen mahdolliseen tekniikkaan ja päästöjen pitkän aikavälin vaikutukset sekä mahdollisesti laajempiin systeemeihin aiheuttamat vaikutukset huomioiden tieteellisen tutkimuksen tuloksien tuodessa siihen mahdollisuuksia. Säädöksissä taloudelliset ohjaukseen liittyvät ja yritykset ryhtyvät hoitamaan ympäristöasioitaan itse. Valvonta hoidetaan yhä enemmän yrityksen viranomaisille ja muille sidosryhmille antamien raporttien avulla. Yritykset vastaavat näihin haasteisiin käyttämällä hyväksi ympäristöjohtamisjärjestelmiä ja muita ympäristöjohtamisen työkaluja. Toiminnassa pyritään suljettuihin kiertoihin, jolloin päästöjä ei syntyisikään. Esimerkiksi kaivokset eristetään ympäristöstään mahdollisimman täydellisesti. Ympäristösäädökset näyttävät hiljalleen harmonisoituvan sekä kansallisesti (liittovaltiot) ja kansainvälisesti. /11, /3/

Erilaiset ympäristöjohtamisjärjestelmät, ympäristövaikutusten analysointi, elinkaarisuunnittelu, kierrätys ja muut asiat ovat jokapäiväisiä työkaluja tulevaisuuden liiketoiminnassa. Kaivosyhtiöille ja muille muille louhintalaitteiden käyttäjille ympäristöjohtaminen on jo arkipäivää ja on todennäköistä, että systemaattista ympäristöjohtamista vaaditaan myös laitevalmistajilta lähitulevaisuudessa. Myös laitevalmistajien ympäristöriskit ovat kasvaneet huomattaviksi ja ankarat vastuusäädökset ympäristövahinkojen korvaamisessa ovat tehneet ympäristöasiat huomioonottavan toiminnan yhä kannattavammaksi riskienhallintakeinoksi. Tutkimus osoittaa selkeästi, että ympäristöasiat on huomioitava liiketoiminnassa jo nyt, ja tulevaisuudessa niiden merkitys kasvaa entisestään.

Maanalaisissa kaivoksissa ja tunneleissa merkittävimpiä ympäristö- ja turvallisuusasioita ovat: melu, pöly, dieselpakokaasut, kaivosjätteet ja yleisesti ympäristöasioiden hallinta auditoineineen. Erilaisia louhintamenetelmiä tutkitaan myös innokkaasti, mutta ilmeisesti kovan kiven louhinnassa poraus ja räjäytys tulee säilyttämään asemansa vielä toistaiseksi. Lähitulevaisuudessa ympäristöasiat korostuvat edelleen ja maanalaisessa toiminnassa on odotettavissa yhä tiukempia vaatimuksia ympäristöjohtamiselle. Jätteiden sijoitus ja käsittely, maisemointiasiat sekä ympäristöstävällisempien öljyjen käyttö tietyillä alueilla tulevat nousemaan yhä merkittävämmiksi asioiksi.

Maan päällä tärkeitä asioita ovat melu, pöly, pakokaasut, louhintamenetelmät, tärinä, avolouhoksien ja muiden työmaiden maisemointi sekä ympäristöauditoinnit ja -johtaminen. Työkoneita koskevien pakokaasumääräysten myötä pakokaasupäästöistä tulee merkittävä asia myös maanpäällisessä louhinnassa. Ympäristölle haitallisten aineiden, kuten polttoaineiden ja öljyjen käsittely, ja niitä koskevat säädökset ovat merkittäviä varsinkin toimittaessa pohjavesialueilla tai muilla herkkillä alueilla, kuten luonnonsuojelualueilla ja arktisilla alueilla. Säädökset ovat edelleen tiukkenemaan päin kaikilla tutkituilla aihealueilla. Uusia avolouhoksia ei voi monessa maassa enää perustaa ilman perusteellisia ympäristöselvityksiä ja tietyillä herkkillä alueilla sallitaan korkeintaan maan alla tapahtuva toiminta. Maisema-arvot ja kasvi- ja eläinlajien säilyttäminen avolouhosten alueella on nostettu hoidettavien asioiden joukkoon. Maisemointiasiat ovat jo arkipäivää lähes kaikissa tutkimukseen otetuissa maissa ja myös systemaattista ympäristöjohtamista vaaditaan monissa maissa. Näiden asioiden merkitys tulee edelleen kasvamaan maanpäällisessä toiminnassa. Biohajaantuvien öljyjen käyttöä tullaan vaatimaan yhä enemmän varsinkin pohjavesi- ja muuten saastumisherkillä alueilla.

Maan päällä asutusalueilla sijaitsevilla rakennustyömailla ympäristömelusäädökset ovat jo vaikeuttaneet työskentelyä ja tulevat jatkossa asettamaan haasteita yhä suuremmissa määrin. Työajolle asetetaan rajoituksia, joudutaan hankkimaan melulupia tai viranomaisen voi

jopa keskeyttää työt liian korkean melutason tai pölymäärän takia. Koneiden melutasoja pitäisi siis pystyä pudottamaan, jotta pystytään kilpailussa mukana. Sama pätee myös pölyn torjuntaan.

Vaatimusten lähteinä ovat edelleen pääosin säädökset ja standardit, mutta yleisen asennemuutoksen merkitystä ympäristöasioiden suhteen ei pidä aliarvioida, sillä se tarkoittaa myös yhä tiukempia vaatimuksia koneiden käyttäjille ja yleisen mielipiteen nousemista hyvin merkittäväksi tekijäksi. Selkeänä trendinä näyttää olevan säädösten tiukkeneminen ja monimutkaistuminen kaikissa tutkituissa asioissa ja ehkä vielä merkityksellisempää on määräysten valvonnan tiukkeneminen ja mahdollisten rangaistusten koveneminen.

Säädösten ja todellisten käytäntöjen välinen ero voi olla hyvinkin suuri. Jos säädöksiä ei valvota kunnolla tai niitä pystyy helposti kiertämään, ei tiukoillakaan säädöksillä välttämättä ole vaikutusta. USA:n, Kanadan ja Australian monimutkainen liittovaltion, osavaltion ja paikallisten säädösten verkko aiheuttaa myös omat vaikeutensa toimittaessa näillä alueilla.

JOHTOPÄÄTÖKSET

Louhintalaitteiden valmistajien on syytä huomioida ympäristöasiat yhä tarkemmin ja ryhtyä oma-aloitteisesti ja ennakkoiden kehittämään ympäristöasioiden hoitoa yrityksen kaikissa toiminnoissa. Ympäristöasioiden hyvällä hoidolla on saavutettavissa kilpailuetua, jos siitä osataan viestiä yrityksen ulkopuolelle oikealla tavalla ja kaikki yrityksen toiminnan osa-alueet tukevat toisiaan. Jos kilpailuetua halutaan todella saavuttaa, on hypättävä junaan nyt, kun asiat ovat vielä suhteellisen uusia. Myöhemmin, kun ympäristöjohtamisesta tulee joka päiväistä toimintaa ja yrityksen sidosryhmät tai säädökset pakot-

tavat kaikki alan yritykset toimenpiteisiin, ei kilpailuetua ympäristöasioilla ole enää aivan samassa määrin saavutettavissa.

YHTEENVETO

Ympäristöasiat ovat tulleet yhä merkittävimiksi louhintalaitteiden käyttäjien toiminnassa. Yhä tiukempien ja monimutkaistuvien ympäristösäädösten mukana pysyminen edellyttää näiden säädösten tuntemista ja toimia niiden täyttämiseksi. Neljä suomalaista louhintalaitteiden valmistajaa päätti yhdessä teettää selvityksen tärkeimpien markkina-alueiden ympäristövaatimuksista nyt ja tulevaisuudessa.

Tutkimuksessa merkittävimiksi asioiksi osoittautuivat ympäristöasioiden hallintajärjestelmät, melu, pöly ja pakokaasut. Ympäristöjärjestelmät ovat tietyillä aloilla jo nykypäivää ja leviämässä kaikille teollisuuden aloille. Melu-, pöly- ja pakokaasuraja-arvot ovat kiristymään päin ja suuntaus on kohti päästölähteisiin suoraan vaikuttavia ratkaisuja. Kaikissa tutkituissa asioissa tiukentuva suuntaus on nähtävissä. Jatkossa kannattaa seurata tarkkaan ainakin EU:n, USA:n sekä Kanadan kehitystä, sillä ne ovat suunnannäyttäjiä ympäristösäädöksissä ja samalla isoja markkina-alueita. Aasian alueelta kannattaa lisäksi seurata Japanin säädöksiä.

Tutkimuksessa esille tulleiden asioiden perusteella louhintalaitteiden valmistajien tulee ottaa ympäristöasioiden kokonaisvaltainen ja systemaattinen hoito yhdeksi toiminnan painopistealueeksi. Laitteiden on pystyttävä täyttämään kiristyvät määräykset, joten ympäristöasiat olisi otettava huomioon jo laitteiden suunnittelussa. Ympäristöasioiden hyvällä hoidolla on saavutettavissa kilpailuetua edellyttäen, että ollaan edelläkävijöiden joukossa ja osataan viestiä sidosryhmille tehdyistä ympäristöparannuksista.

KIRJALLISUUS – REFERENCES

1. *Kalliokoski, A.*, 1995. Ympäristönäkökohtien merkitys louhintalaitteita valmistaville yrityksille. Diplomityö, Tampereen teknisen korkeakoulu, turvallisuustekniikka. Tampere. 103 s.
2. *Kylä-Haraka-Ruonala, T.*, 1995. Ympäristöasiat ovat yritykselle haaste ja mahdollisuus. Seminaarimateriaali, Ympäristötietoinen johtaminen -haaste ja mahdollisuus-seminaari. Metalliteollisuuden keskusliitto, 07.02.1995, Hotelli Kalastajatorppa, Helsinki.
3. *Saxe, D.* 1994 Legal Perspective: A look at regulations -past and future. Hazardous Materials Management, Volume 6, Number 2, April 1994. s. 74.

SUMMARY

THE IMPORTANCE OF ENVIRONMENTAL PERSPECTIVES FOR MINING AND CONSTRUCTION MACHINE MANUFACTURERS

Environmental perspectives have become ever more important all over the world and are affecting all businesses. A market research was carried out to identify the most important environmental requirements, future trends and sources of the requirements concerning mining and construction machine manufacturers. The study was financed by Tamrock Drills, Tamrock Loaders, Nordberg-Lokomo and Normet, and concerned the European Union as well as 11 countries in other significant market areas around the world.

The most important environmental issues proved to be environmental management systems, noise, dust and exhaust gases. Environmental management and management systems can be used for managing

changing environmental regulations. Environmental perspectives should also be taken into consideration in machine design. The general trend in environmental issues is towards stricter liability, regulations and standards. The EU, USA and Canada should be observed to keep up with the development in environmental regulations. Japan indicates the development in Asia.

Based on the results of the study, mining and construction machine manufacturers should use systematic environmental management in all company management and functions. Good communication with different interest groups must be ensured to achieve competitive advantage by environmental management.

”Mining Technology and Economics”

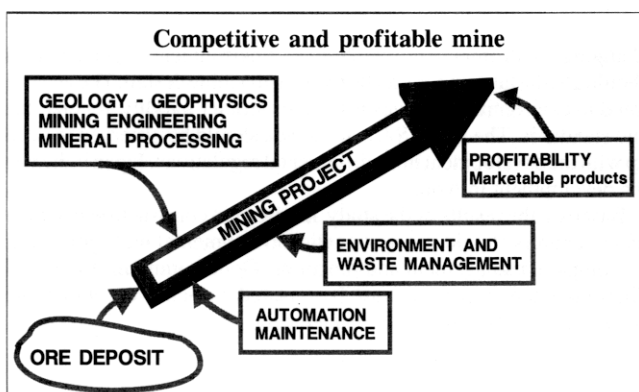
Linkage kurssikokonaisuus käynnistyi Otaniemen Teknillisessä korkeakoulussa

Kurssi on Insinöörigeologian, Kalliorakentamisen ja Mekaanisen prosessi- ja kierrätystekniikan laboratorioden yhteishanke, jolla pyritään takaamaan laaja-alaisen kaivosteknillisen opetuksen jatkuminen Suomessa. Vuosittain alkava ja 1 1/2 v kestävä opintopaketti sisältää tasavahvan kokonaisuuden taloudellista geologiaa, geofysiikkaa, kaivostekniikkaa ja mineraalien prosessitekniikkaa. Kurssiin voivat ja saavat osallistua automaattisesti Teknillisen korkeakoulun omat opiskelijat suorittamaan 3 vuoden kurssit, ulkomaisten ja TKK:n ulkopuolelta tulevien osalta edellytyksenä on vuoriteollisuusalan B.Sc. tutkinto tai vastaava.

Nimensä mukaisesti ohjelman opetus tapahtuu englannin kielellä ja siksi opiskelijoilta edellytetään TOEFEL- tai vastaava kielitodistus. Kurssin sisältö painottuu tekniikkaan, mutta suuri osuus on myös talous- ja ympäristökysymyksillä. Osa-alueet kootaan toisena syksynä kiinteäksi kokonaisuudeksi kaivosfeasibility- työn yhteydessä. (Kuva 1).

Koska kyseessä on DI-tason kurssikokonaisuus voivat kotimaiset opiskelijat suorittaa diplomityön johonkin em. oppituleista. Tämä on myös mahdollista ulkomaisille opiskelijoille, jos he ovat suorittaneet koko kurssikokonaisuuden hyvillä arvosanoilla so. vähintään 3/5.

Kotimaisille opiskelijoille kurssi on ilmainen, mutta ulkomailta hyväksytyt opiskelijat maksavat siitä 20 000 mk, mikä on vaatimaton kurssimaksu verrattuna kansainväliseen käytäntöön.



Kuva 1. Kurssikokonaisuuden tavoitteena on antaa selkeä käsitys kannattavaan kaivostoimintaan kuuluvista eri teknillis-taloudellisista osatekijöistä.

Fig 1. The mining feasibility study joins together geological, technical, economical and environment objects.

OPISKELIJOITA ON NYT 10 KPL

Opiskelijoita tälle ensimmäiselle kurssille on hyväksytty 10 kpl, joista ulkomailta 6 kpl (Egypti, Etiopia, Kanada, Kiina ja Kuuba). Pitkän tähtäimen tavoitteena on pitää kurssi pienenä so. korkeintaan 25 opiskelijaa, joista puolet ulkomailta.



Kuva 2. Linkage kurssin Mining Technology and Economics 1995–96 osallistujia ja opettajia.

Fig. 2. Participants and teachers of the Linkage program Mining Technology and Economics 1995–96.

Ohjelmaa on markkinoitu n. 2 vuotta alan kansainvälisissä ammattilehdissä ja esitteiden avulla. Nyt näyttää siltä, että mielenkiinto tätä kurssia kohtaan on kasvamassa. Seuraavalle, ensi syksynä käynnistytävälle kurssille on jo useita sitovasti ilmoittautuneita ulkomaisia opiskelijoita, joilla on oman maansa teollisuuden tuki. Kurssin menestys ja jatkuvuus riippuu hyvin paljon siitä, millainen palaute saadaan tästä ensimmäisestä kurssista.

IDEAA KYPSYTELTY JO 5 VUOTTA

Suomalaisella kaivososaamisella ja laitevalmistuksella on hyvä maine kaikkialla maailman kaivospiireissä, mutta se ei vielä riitä vetämään ulkomaisia opiskelijoita tänne. Käytännössä vain räätälöity kurssikokonaisuus mahdollistaa aktiivisen opiskelijahankinnan ulkomailta kotimaisten opiskelijoiden rinnalla. Koulutus pohjana pidetty kaivosalan B.Sc. tasoinen perustutkinto helpottaa opiskelijavalintaa ja mahdollistaa mahdollisimman tasapainoisen ryhmän muodostumisen. Kurssin kehittämistä on auttanut yleinen suuntaus englanninkieliseen opetukseen. Hyvänä esimerkkinä on ollut jo useita vuosia toiminut vastaava paperiteknologian linkage kurssi.

KAIVOSPUOLEN OPETUKSEN JATKUVUUS

Kaivospuolen laaja-alaisuus ja kytkentä metallurgiaan on ollut Suomessa itsestään selvyyksiä aina 60-luvun lopulle asti. Sen jälkeen alkoi voimakas erikoistuminen kansainvälisen esimerkin mukaisesti. Kaivosprosessi malminetsinnästä myytäväksi lopputuotteeksi metalliksi tai rikasteeksi on kuitenkin kokonaisuus, jota ei voi pirstoa lopputuloksen kärsimättä. Tämä on monesti unohtunut meillä ja erityisesti ulkomailla. Viimeksi tämä tosiasia on huomattu Ruotsissa, jossa ollaan ehdotettu jopa "bergsingenjör" tittelin ottamista taas käyttöön laaja-alaisen kaivoskoulutuksen saaneille. Norjassa kaivosalan opetus on kysynnän vähetessä hiipumassa ja Ruotsissa painotus on Luulajassa siirtynyt yhä enemmän rakennuspuolelle. Pohjoismaisilla kaivostekniikan oppituloilla on ollut yhteistyötä Nord Plus ohjelman tuella. On järjestetty vuosittain kolme viikon kestävä kurssi: kaivosmittaus (NTH), kunnossapito (LuH) ja kaivosteollisuustalous (TKK).

Kokemukset ovat olleet pääosin positiivisia. Yhteistyötä pyritään jatkamaan ja kehittämään myös tulevaisuudessa, sillä nykyajan tehokkuus ja tuottovaatimukset eivät toteudu ilman uutta ilmettä, sisältöä ja riittävää oppilasmäärää. Suomessa nyt käynnistetty ohjelma takaa tämän laaja-alaisen opiskelun mahdollisuuden mukautettuna nykyajan ja kansainvälisten vaatimusten mukaiseksi.

KAIVOSINSINÖÖRIEN TARVE TULEVAISUUDESSA

Suomessa ja yleensä länsimaissa uusien kaivos- ja rikastusinsinöörien tarve on vaihdellut hyvin rajusti teollisuuden suhdanteiden ja yhtiöiden kulloisenkin strategian perusteella, jota kansainvälistyminen on osaltaan korostanut. Suomessa metallikaivostoiminnan supistuminen ja kalkkiteollisuuden rakennemuutos ovat vähentäneet kotimaisten kaivoksien insinööritarvetta, mutta onneksi samanaikaisesti kokeneita resursseja on tarvittu ulkomaisille kaivosprojekteille. Kokonaisuutena lisähenkilöstön tarve on pysynyt melko alhaisena. Korkeakoulujen ja yliopistojen on ollut erittäin vaikea mukautua tähän nopeaan sykkeeseen kun koulutuksen aikajänne abiturientista valmiiksi diplomi-insinööriksi ja geologiksi vie vähintään 6–7 vuotta.

Nyt TKK:ssa käynnistetty kurssikokonaisuus on toteutettu yhteistyössä teollisuuden kanssa, jotta korkeatasoinen alan osaaminen ja opetus säilyisi Suomessa, varsinkin kun nyt pitkistä aikaa myös kaivosteollisuus näyttää elpymisen merkkejä ja monipuolistuvan.

Jatkuvuuden kannalta on kuitenkin aina muistettava, että kotimaisen kaivosalan opetus edellyttää pitkällä tähtäimellä elinvoimaista kotimaista alan teollisuutta, muuten ala ei motivoi kotimaisia opiskelijoita olipa teollisuuden menestys ulkomailla ja teknillinen osaaminen kuinka korkeata tahansa.

SUMMARY

MINING TECHNOLOGY AND ECONOMICS LINKAGE PROGRAM STARTED

Mining Technology and Economics is an international Linkage program at the Helsinki University of Technology (HUT), Finland. It is a Master's level Program lasting one and a half academic years. The program is arranged annually.

This program has been prepared in close cooperation with the mining and mineral industry, and it will supply the industry's demand for 'mining generalists' who are capable of specialising in any subject inside the mining business.

The program integrates knowledge in four special fields: Economic

Geology, Mining Geophysics, Mining Engineering and Mineral Processing. Teaching extensively covers the latest techniques and methods used in the different stages of a mining project. Special emphasis is given to small and medium-sized mining project, and mining project planning as a whole, including technical, economic and environmental aspects.

The first course consists of 10 graduate students, six of them abroad.

In Memoriam



**HEIKKI ESKO TAPANI
KIVINEN**
18.3.1942–29.3.1995

Elämäntyönsä Outokumpu Oy:n palveluksessa tehnyt projektipäällikkö, diplomi-insinööri Heikki Kivinen kuoli melanoomaan kotonaan Espoossa 29. maaliskuuta. Kivinen oli syntynyt Vaasassa 18. maaliskuuta 1942.

Kivinen kirjoitti ylioppilaaksi Vaasan lyseosta 1961 ja valmistui metallurgian diplomi-insinööriksi Teknillisen korkeakoulun Vuoriteollisuusosastolta 1968. Heti valmistumisensa jälkeen hän siirtyi Outokumpu Oy:n palvelukseen, aluksi atk-suunnittelijaksi.

Vuodesta 1977 Kivinen toimi liekkisulatusmenetelmään perustuvissa tehdasprojekteissa ensin käyttöinsinöörinä ja myöhemmin projektipäällikkönä aina kuolemaansa saakka. Kivisen työnkuvaan kuuluivat uusien tuotantolaitosten käynnistäminen ja laajentaminen ja hän oli pitkällä työkomennuksilla muun muassa Etelä-Koreassa, Siperiassa, Kiinassa, Etelä-Amerikassa, Intiassa ja Zaireissa.

Heikki Kivinen oli erityisen pidetty ulkomaisten yhteistyökumppaneidensa keskuudessa, joihin tekivät lähtemättömän vaikutuksen hänen kykynsä tutustua ja sopeutua erilaisiin kulttuureihin sekä hänen sosi-

aalisuutensa, välittömyytensä ja iloisuutensa.

Nuoruusvuosinaan Vaasassa Kivinen oli aktiivinen Vaasan Uimaseuran ja Vaasan Metsäveikkojen jäsen. Kuorolaulu oli lähellä Kivisen sydäntä. Hän lauloi Polyteknikkojen kuorossa sekä sittemmin Laulumiehissä ja toimi Polyteknikkojen kuoron kannatusyhdistyksen puheenjohtajana vuodesta 1993. Vapaa-aikaan kuuluivat musiikin lisäksi gastronomia sekä mökki Lapissa Kitisen varrella.

Heikki Kivinen oli Vuorimiesyhdistyksen jäsen vuodesta 1968. Hän osallistui aktiivisesti metallurgijaoston toimintaan ja tilaisuuksiin. Metallurgien ja opiskelutovereiden keskuudessa hän oli pidetty avoimen luonteensa, elämänmyönteisyytensä ja ennakkoluulottomuutensa ansiosta. Retun persoonaa tullaan kaipaamaan vuorimiesten joukossa vielä kauan.



OSMO JOUNI VALTERI TUORI
25.3.1919–20.5.1995

Osmo Tuori syntyi Kihniössä 25.3.1919. Hän tuli ylioppilaaksi Toijalan yhteiskoulusta 1937. Saman vuoden syksyllä Teknillisen korkeakoulun kemian osastolla aloitetut opinnot keskeytyivät kuitenkin Talvi- ja Jatkosodan takia; armeijan palvelusta kertyi hänelle joulukuulta 1939 marraskuulle 1944.

Jatkosotaan Osmo lähti viestiupseerina ja osallistui Aunuksen suunnalla 1941–1944 toimineessa Rj.P 4:ssä yli kahteenkymmeneen taisteluun.

Ansoistaan hänelle myönnettiin sekä VR4 että VR4 tlc.

Kaksi opintolomaa ja vuorolomat mahdollistivat kuitenkin opintojen ajoittaisen jatkamisen niin, että hän keväällä 1945 valmistui metallurgian diplomi-insinööriksi ja sai paikan Oy Airam Ab:ssä Helsingissä.

Alkuvuosina hänen alueeseensa Airamissa kuuluivat hehkulankatuotanto ja siihen liittyvä tutkimus- ja kehitystyö. Noina aikoina melkein kaikki oli tuotettava ja valmistettava omassa yrityksessä mitä ei kotimaasta saatu. Kuitenkin laatuosasta oli pyrittävä pitämään huolta viriävän kilpailun takia. Siksi mm. volframhehkulangan laadun kohottamiseen ja myöhemmin 50-luvulla oman automatisoidun kuputuotannon kehittämiseen jouduttiin paljon panostamaan. Kun 60-luvun loppupuolella siirryttiin tulosyksikköorganisaatioon, Osmon vastuualueeseen tulivat lanka-, kone-, lasi- ja neonvalomainostuotanto sekä kuljetus- ja varastotoiminnot. Kehittyi myös ajatus valmistaa ja markkinoida alan koneita ja teknologiaa ulkomaille. Ensimmäiset hankkeet suuntautuivat Neuvostoliittoon ja Intiaan,

minne rakennettiin hehkulankatehdas. Sitten seurasi lankateknologian ja -koneiden myynti Puolaan suurelle Polamkombinaatille. 1975 perustetun Osmon johtaman projekti- ja laitetusyksikön merkittävämpiä hankkeita olivat paristotehtaan rakentaminen turn-key-pohjalla Saudi-Arabiaan, Sambiaan aikaisemmin toimitetun paristotehtaan laajennus sekä toisen hehkulankatehtaan toimittaminen Intiaan. Vv. 1980–84 Osmo toimi esikuntajohtajana vastuualueenaan kansainväliset asiat.

Tarkasteltaessa Osmon lähes 40-vuotista työuraa Airamissa voidaan todeta sen kiinteä yhteys yhtiön, erään suomalaisen teollisuuden pioneerin, kehityskaareen. Osmon insinööriin kuvaan kuului tiukka vastuuntunto annetuista tehtävistä, innovatiivisuus, nopea asioiden hahmotus- ja toimeksipankyky ja hillitty herrasmiesmäisyys. Siihen kuului myös Osmon erinomainen kyky solmia luottamuksellisia, jopa elinikäisiä suhteita ulkomaisiin kollegoihinsa.

Me ystävät, kollegat ja alaiset muistamme Osmoa lämmöllä ja kaipauksella.

J.L., M.S.



**ÅKE REINHOLD BERGSTRÖM
9.1.1910 – 25.5.1995**

Fil.dr., dipl.ing. Åke Bergström, som utförde sitt livsverk inom den finländska metallindustrin, avled den 25 maj i en ålder av 85 år. Han var född den 9 januari 1910 i Björneborg. Efter att ha avlagt studentexamen som 16 åring 1926 disputerade Bergström för filosofiedoktorsgraden endast 22 år gammal 1932 samt avlade diplomingenjörsexamen två år senare.

Bergström började sin över 30 åriga karriär inom Oy Vuoksenniska Ab (nuvarande Imatra Steel Oy) år 1938 som laboratoriechef. Han utnämndes till kommersiell direktör 1948 och till viceverkställande direktör 1956, vilken befattning han innehade till sin pensionering 1972.

Bergström var till sin läggning vidsynt och en skicklig förhandlare. Dessa egenskaper kom väl till pass i det förtroendeuppdrag som kom till hans del, börjande med krigsskadestånds- och GATT-förhandlingarna på 40-talet och fortsättande med ett långvarigt medlemskap och ordförandeskap i styrelsen för Finlands Metallindustriförening och styrelsemedlemskap i Finlands Industriförbund. Till förtroendeuppdrag hörde också medlemskapet i styrelserna för ett flertal finländska industriföretag. Bergsmanaföreningen, till vars stiftande medlemmar han hörde, stod Bergströms hjärta nära.

Han var en mångårig medlem av vår förenings styrelse samt ordförande åren 1957–1960. För sina förtjänster belönades Åke Bergström med såväl Eero Mäkinen

som Berndt Grönblom medaljen. Som en liten detalj må nämnas att han efter krigens slut vid sidan av sina övriga åligganden verkade som t.f. professor i metallurgi vid Tekniska högskolan.

Åke Bergström var berest och beläst. Hans volymrika bibliotek vittnade om hans stora intresse för humaniora i alla dess former, speciellt arkeologi var hans älsklingsämne. Vid diskussioner om de mest olikartade ämnen var hans på gediget vetande baserade inlägg alltid uppskattade. Även scenkonsten i dess olika former hade i Åke Bergström en trogen vän och beundrare. Ännu så sent som detta år besökte han, trots sin svåra sjukdom, vår nya opera – i rullstol.

Åke Bergström var till sin läggning tolerant och vänfast, han var en god kamrat. Med sina gamla klasskamrater höll han ännu de senaste åren fortlöpande kontakt och strax efter krigstiden var han initiativtagare till att åter sammankalla den kamratkrets som ett tiotal kemist-teknologer bildat i början av 30-talet. Detta gav upphov till en nästan femtioårig tradition av månatliga kamratsammankomster.



**BÖRJE KARL HENRIK
FORSSTRÖM
17.12.1910–29.5.1995**

Den 29 maj avled bergsrådet Börje Forsström i Helsingfors i en ålder av 84 år. Därmed gick en av den finländska cement- och byggnadsämnesindustrins förgrundspersonligheter ur tiden.

Börje Forsström föddes den 17 december 1910 i Förby. Han avlade studentexamen

1928 vid Ekenäs Samskola samt utdimitterades 1935 från Tekniska högskolans kemiska avdelning. Efter praktikår i såväl Sverige, USA och Tyskland inträdde han i Lojo Kalkverk AB:s tjänst. 1962 utnämndes han till bolagets verkställande direktör, samt till medlem i dess styrelse. Dessa poster innehade han till sin pensionering 1973. Han kvarstod dock som vice ordförande i bolagets styrelse till 1986. Dessa år innebar en stor och framgångsrik utveckling av Lojo Kalkverk till ett modernt och diversifierat industriföretag.

Börje Forsström var till sin karaktär anspråkslös och mänsklig. Han ägde en hög moral, var saklig och rättvis, alltid redo att ge sig in i debatt och färdig till orädda, ofta obekväma ställningstaganden. Han var också en stimulerande, sympatisk och också fordrande och kritisk företagsledare. Dessa drag uppskattades såväl av arbetskamrater och personal som vänner.

Vid sidan av sitt dagliga värv visade Börje Forsström ett stort intresse för sin omgiv-

ning. Sålunda deltog han aktivt i Lojo kommuns arbete bl.a. som medlem av kommunens fullmäktige under en tjugofemårsperiod. Han var eldsjelen vid upprättandet av Virkby Svenska Samskola.

Börje Forsström var en varm fosterlandsvän och innehade olika förtroendeuppdrag inom reservofficersförbundet. Hans militära grad var ing. major i reserven. Dessutom satt han i ett flertal företags och sammanslutningars styrelser. Han var Bergsmanaföreningens styrelseordförande åren 1966–69.

Närmast hans hjärta torde dock skärgården ha varit. Otaliga är de dagar han tillbringat ute till havs, seglande, fiskande eller blott finnande välbehag i de fria viddernas tjuvning. Namnen Förby, Vålö och Våla är alltid intimt förknippade med Börje Forsström. De betydde för honom avspänning, vederkvickelse och nöje i familjens och goda vänners lag.

C-E.G.

In Memoriam



**TOIVO ADRIAN
TOIVANEN**
16.3.1913–15.11.1995

Outokumpu Oy'n Harjavallan tehtaiden entinen johtaja, teollisuusneuvos, yli-insinööri Toivo Adrian Toivanen kuoli Helsingissä 82 vuoden ikäisenä 15.11.1995. Hän oli syntynyt Merimaskussa 16.3.1913.

Toivo (Topi) Toivanen valmistui diplomi-insinööriksi Åbo Akademin kemiallis-teknillisestä tiedekunnasta vuonna 1940. Hän tuli Outokummun palvelukseen silloiselle

Imatran kuparitehtaalle käyttöinsinööriksi 12.10.1939 ja jäi eläkkeelle Harjavallan tehtaiden johtajan toimestaan vuoden 1974 lopussa.

Toivo Toivanen oli maamme kupari- ja nikkelimetallurgian pioneereja ammatillisen uransa alusta saakka. Imatran kuparisulatossa, jota silloin kutsuttiin sulimoksi hän joutui tuoreena korkeakouluinsinöörinä ajamaan tuotantoa vasta käyttöön otetulla, silloin maailman suurimmalla rikasteiden sulatukseen tarkoitettulla sähköuunilla (6MW). Hän myös koulutti väkeä myöhemmän, Petsamon sulaton vielä suurempien uunien käyttäjiksi.

Vuonna 1944 Toivo Toivanen oli toteuttamassa kuparin valmistuksen siirtoa Imatralta Harjavaltaan: projekti, joka toteutettiin 6 kuukaudessa tuotannon pysäyttämisen uuden sulaton käynnistämiseen. Pioneerityö jatkui sulaton osastopäällikkönä uuden kuparin liekkisulatusmenetelmän koeajoilla ja tuotannon käynnistämällä. Toivo Toivanen oli myös ensimmäisiä Outokummun Suomen ulkopuolelle, Japaniin, USA'han ja Etelä Afrikkaan asiantuntijatehtäviin lähetämiä insinöörejä.

Vuodesta 1958 alkaen Toivo Toivanen toimi Harjavallan tehtaiden teknillisenä joh-

tajana ja vuonna 1961 hänet nimitettiin yli-insinööriksi ja Harjavallan tehtaiden johtajaksi. Outokumpu oli jo 40-luvulla ja 50-luvun alussa tuottanut nikkeliä eri muodoissa, tehnyt suunnitelmia rikin ja teräksen valmistamiseksi, mutta tänä aikana tutkittiin, suunniteltiin ja aloitettiin nikkelin tuotanto Harjavallassa uudelta raaka-ainepohjalta, jälleen uudella menetelmällä, ensimmäisenä maailmassa. Tässä uraa uurtavassa kehitystyössä, kansallisesti huomattavan teollisuustuotannon aikaansaamisessa Toivo Toivasen elämäntyö Outokummun kuparin- ja nikkelinvalmistuksen johtotehtävissä oli merkittävä, ja hänen aikanaan aloitetut tuotantomenetelmät ovat edelleenkin Harjavallan tehtaiden kilpailukyvyyn perustaa.

Topi tunnettiin järjestyksen miehenä. Hänen kykynsä oivaltaa käytännön vaatimukset autoivat merkittävästi ongelmien ratkaisussa. Perheensä parissa hän oli vastuuntuntoinen ja huolehtiva perheenisä, jolle lasten hyvinvointi ja tulevaisuus oli sydämen asia. Alaistensa keskuudessa häntä arvostettiin asiantuntijana ja esimiehenä, joka antoi tilaa itsenäiselle toiminnalle. Tehtaan työntekijöiden hyvinvointi oli Topille läheinen asia. Hänen rakkaimmat harrastuksensa olivat metsästys ja veneily.

SUORITETTUJA TUTKINTOJA – AVLAGDA EXAMINA

OULUN YLIOPISTO

Geofysiikan osasto

Filosofian kandidaatti:

Kaisa Hietala: "Some recent measurements and analysis of the West Spitsbergen Current".

Prosessiteknikan osasto

Tekniikan lisensiaatti:

Pöllänen, Eine: "Hienojen raeluokkien rikastaminen paineenalennusvaahdotusmenetelmällä".

Aluksi työssä tarkastellaan eri tekijöiden vaikutusta ilman liukenemiseen ja saostamiseen lietteestä sekä kuplan ja partikkelin yhdistymistä vaahdotuksessa, erityisesti äkillisessä paineenalennuksessa. Lisäksi tarkastellaan lyhyesti paineenalennusvaahdotusmenetelmiä.

Kokeellisessa osuudessa tarkastellaan hienojen raeluokkien rikastamista paineenalennusta hyväksi käyttäen siten, että liete valmennetaan paineenalaisena ja vaahdotetaan nopean paineenlaskun jälkeen normaali-ilmanpaineessa tavanomaisesti. Tuloksista tarkastellaan vaahdotustuloksen lisäksi, edistääkö paineenalennuksen tai pienen lietetiheyden hyväksikäyttö yhä pienempien partikkelien rikastumista. Koemateriaalina käytetään Pyhäsalmen kuparimalmia.

Tuloksista havaitaan, etteivät paineenalennusvaahdotus tai pienet lietetiheydet edistä pienempien rakeiden rikastumista verrattuna tavanomaiseen vaahdotusmenetelmään. Keskimääräinen vaahdotustulos ei ole vaahdotusmenetelmästä riippuvainen, mutta paineenalennusvaahdotuksella on mahdollista saavuttaa parempi rikasteen kuparipitoisuus saannin ollessa sama kuin tavanomaisella

vaahdotuksella. Ilman saostaminen lietteestä ei vaikuta saannin suuruuteen, mutta sen oletetaan vaikuttavan kokoojan tai säännöstelijän reaktioihin partikkelipinnalla ja sitä kautta rikasteen puhtauteen.

Diplomi-insinöörit:

Aro, Tuomo: "Kromikonvertterin, valokaariuunin ja AOD-konvertterin ajoituksen ja materiaaliarpeen ohjauksen suunnittelu".

Haikola, Mika: "Sintrauspatjan lämpötekniinen selvitys".

Heiniemi, Riikka: "Savukaasujen happimittauksen käyttö sintraamon ohjauksessa".

Karjalainen, Tuija: "Laimeiden nitraattipitoisten jätevesien käsittely jaloterästehtaan neutralointilaitoksella".

Koski, Saara: "Kuonan hallinta yhdistelmäpuhalluskonvertterissa".

Kääriä, Ismo: "Öljyinjektion vaikutus masuunin kuilun tapahtumiin".

Laukkanen, Janne: "Öljyn turbulentin palamisen numeerinen mallinnus masuunin raceway-alueella".

Mattila, Riku: "Tulenkestävän vuorausmateriaalin valinta ferrokromikonvertteriin".

Ollila, Janne M. M.: "Energian käytön optimointi nauhasintrauksessa hapettamalla kromiittia".

Väärämäki, Tuulia: "Koksaamon aktiivilietteen käsittely ja loppusijoitus".

Zerni, Sanna: "Kuumanauhan profiilin optimointi".

Vuorimiesyhdistys – Bergsmannaföreningen ry:n tutkimuslauseet, kirjat ja julkaisut

Tutkimuslauseet: sarja A

	hinta
A 9 "Rikastamoiden jätealuiden järjestely Suomen eri kaivoksilla"	20,-
A 10 "Kuilurakenteet"	20,-
A 20 "Rikastamoiden instrumentointi"	20,-
A 22 "Tulenkestävät keraamiset materiaalit"	20,-
A 24 "Kaivosten ja avolouhosten geologien kartoitus"	20,-
A 25 "Geofysikaaliset kenttätöt I – 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 kallioperäkartoituksissa"	25,-
A 42 "Kaivosten työympäristöt"	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 murskauspiirit"	50,-
A 55 "Murskaus- ja rikastusprosessien asettamat tekniset olosuhdevaatimukset Suomessa"	50,-
A 56 "Pölyntorjunta kaivoksissa"	50,-
A 57 "Pälyntorjunta kaivoksissa"	50,-
A 58 "Paikan ja suunnan määrittäminen geofysikaalisissa tutkimuksissa"	50,-
A 59 "Urveckling av seismiska metoder för geologiska och bergmekaniska undersökningar"	50,-
A 60 "Holvautumisen purkumenetelmät"	50,-
A 61/1 "Rakenteisen 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 kallioliitoissa"	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 pääalkuainekoostumuksen 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 raeuokkien rikastus"	100,-
A 81 "Measurement of Rock Stress in Deep Boreholes"	50,-
A 82 "Avolouhosseinämien puhdistus"	70,-
A 83 "Economic Blasting in Open Pits"	50,-
A 84 "Näytteenotto ja havainnointi kaivosteknisten kalliominisuuksien selvityksessä"	50,-
A 85 "Mineralisaatioiden luokittelu taajuusalueen 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 "Painevalssimurskain – kirjallisuus selvitys"	70,-
A 93 "Kallioperän atomegeokemiallinen tutkimus Testiprojekti 1989-90"	80,-
A 94 "Geological waste rock dilution"	100,-
A 95 "Mineraalipöly"	80,-
A 96 "Pohjoismainen datamalli projekti"	80,-
A 97 "Malmiarvion laatiminen"	100,-
A 98 "Uuden murskaus- ja kuljetusteknologian soveltaminen avolouhintaan."	100,-
A 99 "Termisen infrapunakuvauksen käyttömahdollisuudet geologisiin tutkimuksiin Suomessa"	100,-
A 100 "Geologiset ympäristövaikutukset kallioliitojen louhinnassa"	80,-
A 101 "Vuoriteollisuus 2000 – teknologiaohjelma"	50,-
A 102 "Geokemian geofysiikan kompleksitulkinnat"	120,-
A 103 "Kuva-analyysi rikastusmineralogiasa"	90,-
A 104 Vahvamagneettisen erotuksen soveltaminen suomalaisten metalli- ja teollisuusmineraalimalmien rikastuksessa. Timo Nordman ja Markku Koivisto.	70,-

Koulutus- ja seminaarimonistheet, kalliomekaniikan päivien esitelmämonistheet sekä muut julkaisut: sarja B

B "Kalliomekaniikan päivät 1967-78, 1983-84"	à 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-Senkametalurgin"	45,-
B 18 INSKO 90-74 "Investoinnit ja käyttöläskenta metallurgisen teollisuuden toiminnan ohjauksessa"	45,-
B 19 INSKO-45-75 "Materiaalioimitusten laadunvalvontakysymyksiä metalliteollisuudessa"	45,-
B 23 "Laatokan-Perämeren malmivyöhyke"	40,-
B 25 "Raakkulaimennus ja sen taloudellinen merkitys kaivostoiminnassa"	50,-
B 27 "Uraaniraaka-ainesymposiumi"	50,-
B 29 "Kaivos- ja louhintatekniikan käsikirja"	loppuunmyyty
B 30 "Teollisuusmineraalisesinaari"	50,-
B 32 "Valtakunnallisen geologisen tietojenkäsittelyn kehittämisesinaari"	50,-
B 37 "Kaivoskohteiden urakasopimusjärjestelmä"	50,-
B 38 "Tuotantominaalogianseminaari 16.1.1986"	60,-
B 39 "Maanalaisen louhintatyömaan sähköistys ja automaatio"	100,-
B 40 "Vuorimiesyhdistyksen tutkimuslauseen kirjoitusohjeet"	-
B 41 "Mineraalitekniikan tutkimuksen valtakunnallinen kehittämissuunnitelma 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 "Tuotantominaalogian seminaari 1990"	100,-
B 50 "Geokemian päivät Oulussa 28.-29.11.90"	loppuunmyyty
B 51 "Suomen kallioperän kehitys ja raaka-ainevarat" Oulu 1.-2.10.1992	100,-
B 52 "Fragmentointisesinaari 7.-8.11.90"	50,-
B 53 "Malmiarviosesinaari 26.11.92"	100,-
B 54 "Itä-Suomen kultaesiintymät, Ekskursio-opas 28.-29.9.93"	80,-
B 55 "Kallioteknisen geologian sanasto"	50,-
B 56 Lapin kerrosintrusiot ja niihin liittyvät malmit. Ekskursio-opas 6.-8.9.1994. Toim. Jarmo Lahtinen ja Erkki Vanhanen. Eero Mäkinen mitali (pronssi) VMY:n solmio sininen/punainen	40,- 200,- 150,-
B 57 Kolmannet Geokemian päivät 6.-8.2.1995. Toim.: Simikka Roos, Reijo Salminen ja Pekka Nurmi.	50,-
B 58 Tampereen – Vammalan alueen ekskursio 5.-6.10.95. Toim.: Martti Kokkola ja Raimo Lahtinen.	50,-
B 59 Geofysiikan X neuvottelupäivät 15.-16.11.95. Toim.: Timo Tervo	70,-
B 60 Kalliomekaniikan päivä 15.11.95 Toim.: Harri Kuula, Reijo Riekkola ja Timo Saanio	80,-

Vuoriteollisuus – Bergshanteringen-lehden vanhempi 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 90-421 3899

LuK Marjatta Parkkinen hoitaa Vuorimiesyhdistyksen jäsenrekisteriä. Mikäli osoite, tehtävät tai vakanssi on muuttunut, pyydämme lähettämään muutostiedotuksen 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 90-421 3899

NatK Marjatta Parkkinen sköter om Bergsmannaföreningens medlemsregister. Om er adress, arbetsuppgifter eller tjänst har ändrats, anholder 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 90-421 3899

ILMOITTAJAT – ANNONSÖRER

- Oy AGA Ab
- BOART LONGYEAR Oy
- FINN-VALVE Oy
- FUNDIA WIRE Oy Ab
- GEOLOGIAN TUTKIMUSKESKUS
- IMATRA STEEL Oy Ab
- KUUSAKOSKI Oy
- LAROX Oy
- NORDBERG-LOKOMO Oy
- NORDKALK Oy Ab
- OUTOKUMPU HARJAVALTA METALS Oy
- OUTOKUMPU Oy
- OUTOKUMPU RESEARCH Oy
Geoanalyttinen Laboratorio
- PAROC Oy Ab
- PARTEK INDUSTRIAL MINERALS Ltd.
- POHTO
- RAUMA Oy, Nordberg Group
- RAUTARUUKKI Oy
- Oy E. SARLIN Ab
- SUOMEN MALMI Oy
- Oy SVEDALA Ab
- TAMFELT Oy Ab
- TAMROCK Oy
- UUSIMAA Oy
- VALMET AUTOMATION Oy
- WARMAN INTERNATIONAL SCANDINAVIA Oy

OHJEITA KIRJOITTAJILLE

Lehden painatuskustannusten pienentämiseksi ja ulkoasun yhtenäistämiseksi kirjoittaja pyydetään noudattamaan seuraavia ohjeita:

Käsikirjoitukset on kirjoitettava koneella yhdelle puolelle arkkia 2-välillä. Otamme myös pc-diskettinä kirjoituksenne. Silloin pyydämme liittämään mukaan yhden paperikopion. On pyrittävä lyhyeen ja ytimekkääseen esitystapaan. Artikkelien **suositeltava enimmäispituus kuvineen, taulukkoineen ja kirjallisuusviitteineen** on 4 painosivua. Toimituksen mielestä lyhennettäväksi mahdolliset käsikirjoitukset palautetaan kirjoittajille korjausta varten. 3 konekirjoitusarkkia = noin 1 sivu.

Pääotsikot ja alaotsikot erotetaan toisistaan selkeästi.

Kuvat ja taulukot numeroidaan jatkuvasti ja niiden tekstit sekä näiden **englanninkieliset käännökset** kirjoitetaan erilliselle arkille. Kuvien olisi mahdollista yhden palstan leveydelle (**85 mm**), mutta ne on piirrettävä vähintään kaksinkertaiseen kokoon ottaen viivapaksuuksia ja kirjainkokoja valittaessa huomioon pienennyksen vaikutus. Kuvia ei varusteta kehysviivoin. Kuvien paikat on merkittävä käsikirjoitukseen. Kuvien ja piirustusten tulisi mieluiten olla mustavalkoisia.

Kaavat ja yhtälöt on kirjoitettava selvästi ja yksinkertaiseen muotoon, mahdollisuuksien mukaan välttäen ala- ja yläindeksien, erikokoisten merkkien ja vieraiden kirjainten käyttöä. On käytettävä SI-yksiköitä.

Kirjallisuusviitteet numeroidaan jatkuvasti // sulkuihin tekstissä ja esitetään lopussa seuraavassa muodossa:

1. *Järvinen, A.*, Vuoriteollisuus – Bergshanteringen, 34 (1976) 35–39.
2. *Kirchberg, H.*, *Aufbereitung bergbaulischer Rohstoffe*, Bd 1. Verlag Gronau, Jena 1953.

Jokaiselle artikkelille on ilmoitettava **englanninkielinen otsikko** sekä laadittava kielellisesti tarkistettu englanninkielinen yhteenveto – **summary** – pituudeltaan enintään noin 20 konekirjoitusrivää.

Palauttaa **aina** käsikirjoitus yhdessä korjatun oikovedoksen kanssa takaisin toimitukseen.

Keväällä ilmestyvään lehteen tarkoitetut artikkelit on lähetettävä toimitukselle **13.3.** mennessä, syysnumeroon tarkoitetut **14.10.** mennessä.

Eripainoksia toimitetaan kirjoittajan laskuun eri sopimuksella. Eripainoksien minimimäärä on **100 kpl**.

TEKNILLINEN KORKEAKOULU, OTANIEMI

Materiaali- ja kallioteknikan laitos

Tekniikan tohtorit:

Tekniikan lisensiaatti **Mikhail Gasik** in väitöskirja "Principles of Functional Gradient Materials and their Processing by Powder Metallurgy" tarkastettiin keskiviikkona 24. toukokuuta 1995 Teknillisen korkeakoulun Materiaali- ja kallioteknikan laitoksella. Virallisenä vastaväittäjänä toimi professori Bernhard Iilschner, Ecole Polytechnique Federale de Lausanne (EPFL), Sveitsi sekä valvojana apul. professori Heikki Jalkanen, Metallurgia, TKK.

Väitöskirjan alana on ns. funktionaalit gradientti materiaalit (FGM) sekä niiden ominaisuudet ja valmistusprosessien perusteet.

FGM:lla tarkoitetaan materiaaleja, joissa aine muuttuu toiseksi ilman terävää rajapintaa. FGM ja niihin perustuvia tuotteita voidaan karakterisoida kiinteän tilan liukoisuuden, koostumuksen, faasijakamien, ym. mukaan. Ne poikkeavat tavanomaisista materiaaleista erityisesti siinä suhteessa, että FGM:n ominaisuuksien suunnittelu ja niiden valmistus on lähinnä sovelluskohtainen. FGM:lla on useita soveltamiskohteita, mm. kovametallit, biomateriaalit, elektroniset laitteet, sekä optiset ja magneettiset komponentit. FGM:a koskevia teoreettisia ja soveltavia tutkimuksia on käsitelty väitöskirjassa, mm. mikromekaanisen FGM:n mallin kehitys, ominaisuuden laskeminen sekä jauhemetallugian ja infiltraation valmistustekniikka.

Tutkimukset ovat käynnistyneet kansainvälisen COST-503 projektin yhteydessä.

Tekniikan lisensiaatti **Jarkko Partisen** väitöskirja "On the Fluid Flow and Free Surface Phenomena in a Metallic Melt under the Influence of Rotational Electromagnetic Stirring" tarkastettiin perjantaina 13. lokakuuta 1995 Teknillisen korkeakoulun Materiaali- ja kallioteknikan laitoksella. Virallisenä vastaväittäjänä toimi Dr. Stein Tore Johansen, SINTEF Materials Technology sekä valvojana professori Lauri Holappa, Teknillinen korkeakoulu.

Väitöskirja kuuluu metallurgian alaan ja siinä esitetty tutkimus käsittelee virtauksia ja vapaan pinnan muutoksia sähkömagneettisen sekoituksen vaikutuksesta. Tämän lisäksi tarkastellaan jähmettymisen aikana sulaan kohdistetun sekoituksen vaikutuksia syntyvään jähmettymisrakenteeseen. Väitöstyö käsittelee sekä laboratoriokokeita että virtaus- ja vapaapintailmiöiden matemaattista mallinnusta.

Diplomi-insinööri **Timo Saarion** väitöskirja "Development and Applications of the Contact Electric Resistance Technique" tarkastettiin perjantaina 27. lokakuuta 1995 Teknillisen korkeakoulun Materiaali- ja kallioteknikan laitoksella. Virallisina vastaväittäjinä toimivat professori Roger Staehle ja professori Johan de Wit sekä valvojana professori Seppo Yläsaari, TKK.

Työssä on kehitetty uusi pintateknikan alaan kuuluva tutkimuslaitteisto. CER-laitteella mitataan in situ pintafilmiin sähkövastusta 10^9 ohmin erotuskvyyllä, jonka on kokeellisesti todistettu vastaavan n. 0.03 atomikerroksen paksuisen pintafilemin aiheuttamaa vastusmuutosta. Tekniikkaa on väitöstyössä sovellettu mm. GaAs-puoliyohteiden passiivimisprosessissa, katalyysimateriaalien tutkimuksessa, ydinvoimalaitosten korroosio-ongelmien ratkaisemisessa sekä paperi- ja sellutehtaiden rakennemateriaalien tutkimisessa.

Filosofian maisteri, diplomi-insinööri **Risto O. Toivasen** väitöskirja "On the Mechanism of Dezincification of Brass" tarkastettiin perjantaina 25. elokuuta 1995 Teknillisen korkeakoulun Materiaali- ja kallioteknikan laitoksella. Virallisina vastaväittäjinä toimivat professori Einar Mattson, Ruotsi ja dosentti Jyrki Molarius, Suomi sekä valvojana professori Seppo Yläsaari, Teknillinen korkeakoulu, Korroosion ja materiaalikemian laboratorio.

Väitöskirja kuuluu korroosion ja materiaalikemian alaan. Siinä on tutkittu ja selvitetty messingissä esiintyvän selektiivisen korroosion (=sinkinkadon) mekanismeja. Messinki on kuparin ja sinkin metalliseos. Se on yleinen konstruktio materiaali, jota edullisuuden, monipuolisen ominaisuusyhdistelmän ja hyvän korroosionkestävyyden vuoksi käytetään monissa veden kanssa pitkään kosketukseen tulevis-

sa sovellutuksissa. Messingin tärkeimpiä käyttökohteita ovat vesihanat ja putkien liitososat, lämmönvaihtimet, ruuvit, mutterit sekä eräät elektroniikka-, sähkö- ja puolustustekniikan osat.

Messingin sinkinkato on ilmiö, missä materiaali menettää sinkkiä ja jäljelle jää vain huonon mekaanisen kestävyuden omaavaa huokoista kuparia. Sinkinkato ei oleellisesti muuta kappaleen ulkoisia mittoja. Tässä tutkimuksessa havaittiin, että sinkinkato on perkolatioilmiö, joka johtuu materiaalin mikroskooppisesta virheestä (sinkkiatomien jonoutumisesta). Tämä virhe esiintyy haitallisena, kun sinkkiä on seostettu messinkiin yli 20 %, ja sen vaikutus on hallittavissa lisäseostuksella (sisäisillä inhibiiteilla). Mekanismin selvittämisessä käytettiin Teknillisessä korkeakoulussa ja Helsingin yliopistossa olevia metallitutkimusresursseja; mm. läpivalaisuelektronimikroskoopia, hiukkaskiihdytintutkimuksia, tietokonesimulointia sekä korroosiokohteita.

Messingin sinkinkatoilmiön mekanismin selvittäminen on korroosion alalla tärkeä löytö. Se parantaa oleellisesti korroosion kontrolloimisen mahdollisuuksia. Löydettyä ratkaisua voidaan soveltaa useiden metalliseosten korroosionkestävyyden parantamiseen.

Tekniikan lisensiaatti:

Kiiski, Arto: "Shokkiaaltotekniikan käyttö komposiittijauheiden ja sulasammutusnauhan kompaktointiin".

Tässä työssä selvitetään mahdollisuutta kompaktoida ja liittää komposiittijauhetta teräksen pinnalle shokkiaaltotekniikan avulla. Komposiittijauheet valittiin siten, että ne voisivat toimia kulutusta-kestävänä pinnoitteena. Komposiittijauheen koostumus oli vapaasti valittavissa jauhemaisien lähtöaineiden ansiosta. Komposiittijauhe pyrittiin kompaktoidaan ja liittämään teräkseen samalla kertaa shokkiaaltotekniikalla. Lisäksi työssä käytettiin shokkiaaltotekniikkaa kiinteytämään amorfista sulasammutettua magneettinauhaa. Nauhan amorfisen mikrorakenteen vuoksi sitä ei voida kiinteyttää tavanomaisilla menetelmillä siten, että amorfinen mikrorakenne säilyy. Shokkiaalto synnyttiin materiaaleihin räjäytystekniikan avulla.

Työssä valmistettiin kulumistakestävää pinnoitetta, jonka kulumisen oli kolmasosa vertailumateriaalina käytettyyn korkeaa hiili- ja kromipitoiseen (Cr 17 % ja C 1,2 %) valuteräkseen verrattuna. Pinnoitteiden leikkauslujuudeksi mitattiin noin 40 MPa. Pinnoite-älytettiin myös optisella- ja elektronimikroskopialla, jolloin joissakin kokeissa havaittiin pinnoitteen ja teräksen rajapinnalla muodostuneen paikallisen sulamisen vuoksi uusia faaseja.

Sulasammutusnauha onnistuttiin kompaktoidaan täysin tiiviiksi renkaaksi, jonka mikrorakenne säilyi amorfisena shokkiaalto-kompaktoinnissa. Renkaasta mitattiin magneettiset ominaisuudet ja lämpökäsittelyn jälkeen päästiin koersiivivoimassa arvoon 10 A/m. Kompaktoinnissa renkaan kovuus putosi nauhan arvosta noin HV 800 arvoon noin HV 600. Tämä tarkoittaa sitä, että nauhojen välinen liitos ei ole aivan yhtä luja kuin alkuperäinen materiaali.

Pöijärvi, Jaakko: "Elohopean poisto pasutuskaasuista".

Termodynaamisten laskelmien ja kokeellisten mittausten avulla on selvitetty elohopean käyttäytymistä ja kulkua sulfidisen sinkkirakenteen hapettavassa pasutuksessa, pasutuskaasufaasissa ja rikkihapon valmistusprosessissa. Päähuomio on kiinnitetty kaasufaasiin.

Pasutuskaasujen elohopean poistoprosessia kehitettäessä esiin tulleita muita vaihtoehtoja on arvioitu, mutta keskitytty täysin uuden kehitetyn menetelmän prosessianalyttiseen tarkasteluun. Muihin tunnettuihin ja patentoituihin elohopean poistoprosesseihin on luotu kriittinen katsaus termodynaamisten laskelmien avulla.

Elohopean läheisesti liittyvä on tutkittu myös seleenin ja kloorin kulkua prosessissa. Elohopean poistoprosessista saatavan elohopea- ja seleenipitoisen sakan jalostamiseksi on kehitetty myös uusi prosessi elohopean ja seleenin talteenottoa varten.

Kirjallisuustutkimuksen tarkoituksena on ollut tuoda esille elohopean ja sen tärkeimpien yhdisteiden ominaisuuksia ja toksisuutta. Tässä mielessä varsinkin rikin, seleenin ja halogenidien elohopeayhdisteitä on esitelty tarkemmin kokeellisessa osassa esiin tulevien asiayhteyksien selvittämiseksi.

Elohopean orgaanisia ja kompleksiyhdisteitä on tarkasteltu elohopean elollisessa luonnossa tapahtuvan kiertokulun havainnollistamiseksi. Elohopean esiintymiseen ja yleiseen kiertokulkuun luonnossa

on elohopean saasteongelmana saaneen kiinnostuksen vuoksi kiinnitetty erityistä huomiota. Elohopean tuotantoa, käyttöä, valmistusmenetelmiä ja talteenottoa sivutuotteena on lyhyesti käsitelty kirjallisuustutkimuksen lopuksi.

Sandholm, Risto: "Jatkuvavaluaihion (bluumin) laatuun vaikuttavat tekijät".

Bluumivalu on nykyaikainen tapa valaa teräksiä, jotka valssataan pitkiksi tuotteiksi. Jatkuvavalun osuus teräksenvalmistuksesta kasvaa jatkuvasti, mikä osoittaa teräksen käyttäjien lisääntyvän luottamuksen jatkuvavaleturn teräksen laatuun. Tämä lisensiaatintyö on kokoelma tämän päivän laatu-tietoutta bluumivalusta.

Työn ensimmäinen osa käsittelee teräksen valmistusta reitillä uuni-senkkäkäsittely-valu. Pääpaino on laitteistossa ja menetelmissä, joilla voidaan vaikuttaa valettavan bluumin laatuun. Toisessa osassa selvitetään teräksen halkeamaherkkyteen vaikuttavia tekijöitä mm. heikon sitkeyden lämpötila-alueet, analyysin vaikutus ja mahdollisiin halkeamiin johtavien, bluumiin kohdistuvien, ulkoisten voimien aiheuttajia. Erilaiset bluumiviat, niiden syntyyn vaikuttavat tekijät ja vikojen syntykohdat valukoneella on esitetty.

Siltanen, Antero: "Ympäristögeologisten vaikutusten huomioonottaminen maa- ja kallioaineksen oton suunnittelussa".

Tutkimuksen päämääränä on ollut tarkastella ympäristögeologisten vaikutusten huomioonottamista maa- ja kallioaineksen oton suunnittelussa. Tässä tutkimuksessa ympäristögeologia nähdään osittain itsenäiseksi tieteenalaksi ympäristögeotieteiden joukossa, ja ympäristögeohydrologia ja ympäristögeokemia ovat läheisiä mutta itsenäisiä tieteenhaaroja. Maa- ja kallioaineksen oton ympäristögeologisista vaikutuksista pidetään olennaisimpana kaivutoiminnan aiheuttamaa geologisen muodostuman häviämistä ja/tai muutosta, joka aiheuttaa muutoksia alueen massatasapainossa ja pohjavesiolosuhteissa. Tutkimuksessa tarkastellaan aihetta käytännön esimerkkien, suomalaisen suunnittelukäytännön ja teorian valossa. Käytännön esimerkiksi on valittu kaksi kallioaineksen ottopaikkaa, joista toinen on kaivos (Siilinjärven avouluhos), sekä kaksi erityyppistä soranotokohdetta. Selvitykset osoittavat maa- ja kallioaineksen oton ja siitä seuraavien ympäristögeologisten muutosten aiheuttavan ei-toivottavia muutoksia pohjaveden laadulle ja muodostumismäärälle, jotka edelleen saattavat vaikuttaa maaperän painumiseen, routimiseen ja soistumiseen.

Normatiivinen suunnittelu ei ole ensisijaisesti kiinnostunut maa- ja kallioaineksen oton ympäristögeologisista vaikutuksista vaan geologisen muodostuman luonnonsuojelullisesta säilyttämisestä, pohjavedestä sekä ehjistä maisemakuvasta. Kun olemassaoleva lainsäädäntö ei edellytä ympäristögeologisten tutkimusten tekemistä, tehdään ottopaikoilla useimmiten vain pohjavesihavainnointia, jolloin pohjaveden mahdollisen pilaantumisen perimmäinen ympäristögeologinen aiheuttaja jää selvittämättä. Tutkimus osoittaa kuitenkin, että (1) geologisten muutosten käynnistämä ympäristövaikutusten ketju voi olla pitkä ja monitahoinen ja (2) muutosten vaikutusten ollessa vähäisiä tätä seikkaa voidaan hyödyntää taloudellisesti esim. laajemman tai halvemman tuotannon kautta, jos se vain voidaan luotettavasti tutkimuksin osoittaa. Siksi myös normatiivisen suunnittelun tulisi ottaa huomioon ympäristögeologisten tutkimusten välttämättömyys ja taloudellinen merkitys.

Turkia, Minna: "Tantaali- ja niobipinnoitettujen terästen korroosionkestävyys rikkihappoympäristöissä". ("Tantalum and Niobium Coated Materials in Sulphuric Acid Media").

Tantaalin ja niobin prosessi- ja kemianteollisuuden kannalta tärkein ominaisuus on niiden erinomainen korroosionkestävyys. Näiden metallien korroosio on luonteeltaan yleistä syöpymistä, joka on selvä etu muihin kilpaileviin metallisiin materiaaleihin nähden. Käytettäessä esim. haponkestävää terästä on erilaiset paikalliset korroosioilmiot aina otettava huomioon. Korroosionkestävyydeltään samankaltaisiin ei-metallisiin materiaaleihin, kuten lasiin, nähden tantaalin ja niobin etuna on metalleille ominainen hyvä lämmön- ja sähköjohtavuus.

Teknillisen korkeakoulun Korroosion ja materiaalikemian laboratorion yhteistyö Venäjän Tiedeakatemia Kuolan Tiedekeskuksen Kemian Insituutin kanssa mahdollisti tutkimukset ääriolosuhteissa käytettävien suolasulamenetelmällä valmistettujen tantaali- ja

niobipinnoitteiden sähkökemiallisesta käyttäytymisestä. Tutkitut pinnoitteet oli valmistettu Kuolan Tiedekeskuksen Pilot-mittakaavan laitteistolla professori Evgeny G. Polyakivin johdolla.

Pinnoitteiden tutkimuksessa käytettiin sekä tasa- että vaihtovirtatekniikkaan perustuvia sähkökemiallisia mittausten menetelmiä tavanomaisten fysikaalisten pinta-analyysimenetelmien lisäksi. Eräs työn merkittävimmistä tuloksista oli, että jo 50 µm tantaali- tai niobipinnoite estää perusmateriaalin korroosion aggressiivisessa 37,5 % rikkihapossa 110°C lämpötilassa. Niobipinnoitettujen ruostumattoman teräksen ja hiiliteräksen korroosionkestävyys 30 % rikkihappoliuoksessa osoittautui viisi kertaluokkaa paremmaksi kuin pinnoittamattoman ruostumattoman teräksen.

Väinölä, Reima: "Hyvinlastuttavan teräksen valmistusprosessin kehittäminen".

Rikitetyn kalsiumkäsittelyn teräksen jatkuvavalu on ongelmallista. Sulasta kiinteänä muodostuva kalsiumsulfidi CaS pyrkii tukkimaan suutitit ja valuputket. Kalsiumsulfidia syntyy sitä enemmän mitä korkeampi on sulan kalsium- ja rikkipitoisuus sekä mitä matalampi on sulan happipitoisuus ja lämpötila.

Kontrolloimalla sulan teräksen happitasoa voidaan kalsiumsulfidin muodostuminen siirtää niin myöhäiseen prosessivaiheeseen, ettei siitä enää ole haittaa teräksen valettavuudelle. Happipitoisuutta voidaan hallita tiivistyspraktiikalla, sopivalla oksidilisäyksellä sekä kontrolloidulla happipuhalluksella. Viimeksi mainittu menetelmä on osoittautunut kaikkein parhaimmaksi keinoksi, kun tavoitellaan tiettyä lopputuotteen happipitoisuutta.

Liian korkea happitaso teräksessä merkitsee suurta oksidisulkeumien määrää, mikä heikentää teräksen mekaanisia ominaisuuksia. Korkeahappisia sulatuksia ei näin ollen voi käyttää vaativiin käyttökohteisiin. Toisaalta jos happipitoisuus laskee lopputuotteessa alle 20 ppm merkitsee se huonontuneitten valumuinaisuuksien lisäksi myös huonontunutta lastuttavuutta.

Pyrittäessä valmistamaan hyvinlastuttavia teräksiä yhä korkeammilla rikkipitoisuuksilla, tulee tietyllä rikkipitoisuudella vastaan raja, jossa valuongelmia ei enää voida ratkaista happikontrollin avulla. CaS:n muodostumisen aiheuttama valuongelma voidaan tällöin kiertää seostamalla osa kiinteän CaS:n erkaantumiseen vaikuttavista seosaineista (Al, S, Ca) vasta valun aikana. Seostamalla rikkirautaa (FeS) suoraan jatkuvavaluokoliin on voitu valmistaa niin korkearikkistä terästä, että sen valaminen muutoin olisi ollut mahdotonta.

Väliallas- ja kokilliseostusta edelleen kehittämällä on mahdollista luoda myös valmius aivan uusien teräslajien jatkuvavaluun. Tehdyissä kokilliseostuskokeissa analyysijakautuma on ollut tasainen ja seostuksen vaikutus jähmettymisrakenteeseen on ollut edullinen.

Diplomi-insinöörit:

Backman, Ria Catarina: "Piirikorttien suoja-pinnoitus kosteita olosuhteita vastaan".

Haila, Outi: "Syklo-olefiinikopolymeerien ominaisuuksien tutkiminen".

Hietala, Kari Eelis: "Savukaasun rikinpoisto Wiser WDS-menetelmällä".

Honkanen, Jari: "The Status of Availability of Drilling Equipment".
Järvinen, Marko: "Uuniatmosfäärin ja teräslajin vaikutus hilseilyyn aihion kuumennuksessa".

Kallio, Antti: "Elg-hehkutus-uunin suorituskyky".

Kosonen, Topi: "Metallijauheiden kiinteytyminen isostaattisessa kuumapuristuksessa (HIP)".

Pihlajamäki, Jaana Birgitta: "Ammoniumsulfatitkityttämön laitteiden korroosionesto".

Rautila, Pekka: "Galvaanisen juotepinnoitteen soveltuvuus elektroluminenssinäytön kokoonpanoon".

Räsänen, Tatu: "Langan valssausnopeuden noston vaikutus valssausparametreihin ja mekaanisiin ominaisuuksiin".

Savolainen, Petri: "Taottujen tuotteiden kontrolloidun jäähtymisen mallintaminen".

Vaarno, Jussi: "Liekkisulatuksen suspensioireaktioiden numeerinen simulointi".



VUORINAISET NORDKALK OY AB:N KAIVOKSESSA 6.5.1995

Tihkusateisena toukokuun lauantaiaamuna kokoontui 29 iloista Vuorinaista (+ 15 avec vuorimiestä) perinteiselle kevätretkelle. Retken kohteena oli Nordkalk Oy Ab:n Tytyrin kaivos Lohjalla sekä Mustion linna. Tytyrin kaivoksessa maan alla tutustuimme kaivosmuseoon sekä valaistuun, soivaan kaivokseen. Maan päällä kahvin lomassa kuuntelimme isäntämme tehdaspäällikkö Heikki Latvan mielenkiin-

toista esitystä kaivoksen historiasta ja nykypäivästä. Lohjan läpi matkamme jatkui Mustion linnnaan, jossa tutustuimme asiantuntevan oppaan avulla paikkakunnan ja linnan historiaan sekä sen värikkäisiin henkilöihin. Ravintola Linnankrouvissa nautitun maittavan lounaan jälkeen olikin sitten kotimatkan aika. Kiitos asianosaisille, etenkin Tuulalle, onnistuneesta kevätretkestä! (TH)



Retkeläiset laskeutumassa Tytyrin museokaivokseen.



Tytyrin täysinpalvellut paineilmakompressori tarkastelun kohteena.

VTT:N TUTKIMUSHALLI VUORINAISTEN TUTUSTUMISKOHTENA 4.10.1995

Vuorinaisten syksyn ensimmäinen tilaisuus (AVEC), tutustuminen VTT:n maanalaiseen tutkimushalliin 4. lokakuuta, sai Vuorinaiset (28 + 16) runsain joukoin liikkeelle. Tutkimushalli, joka sijaitsee 40 m maanpinnan ja 20 m merenpinnan alapuolella, toimii tarvittaessa väestönsuojana. Meille kerrottiin, että halliin mahtuu 500 tutkijaa tai 5000 ihmistä. Miksi tutkija vastaa kymmentä ihmistä jäi epäselväksi. Maan alla tunnin kestäneen tutustumiskierroksen jälkeen siirryimme maan päälle VTT:n VIP-tiloihin, talon ylimpään kerrokseen. Samalla kun nautimme VTT:n vieraanvaraisuudesta, isäntämme tutkimusjohtaja Heikki Kleemola kertoi meille VTT Valmistustekniikasta, jonka pieni osa-alue tutkimushallissa näkemämme tutkimustoiminta on. VTT:lle kiitos mielenkiintoisesta ja antoisasta vierailusta! Vahinko vain, että pimeyden vuoksi näköala VIP-tiloista jäi näkemättä, sillä ruska Etelä-Suomessa oli parhaimillaan. (TH)



VTT:n maanalaisessa tutkimushallissa oli monenlaisia tutkimus- ja testauslaitteita.

UUSIA JÄSENIÄ – NYA MEDLEMMAR

Vuorimiesyhdistys – Bergsmannaföreningen r.y.:n hallitus on hyväksynyt seuraavat henkilöt yhdistyksen jäseniksi:

Kokouksessa 19.9.95

Hakala, Jan Kimmo Taisto, FK, s. 20.5.1966, kehitysinsinööri, Paroc Oy Ab, Parainen.
Os.: Kardinaalinkatu 3 L 108, 20380 TURKU. Jaosto: geo.
Ruotanen, Kyösti Elias, FK, s. 00.00.1960, tuotekehitysinsinööri, BET-KER Oy.
Os.: Mertatie 2 A 7, 84100 YLIVIESKA. Jaosto: geo, met.

Kokouksessa 21.11.95

Heiniemi, Riikka Leena DI, s. 8.5.1970, tutkimusinsinööri, Rautaruukki Oy, Raahe Steel.
Os.: Mäkituvantie 10, 92130 RAAHE. Jaosto: met.
Hirvonen, Jouni Heikki Ilari, DI, s. 2.2.1961 toimitusjohtaja, Finemat Oy.
Os.: Tulisuonkuja 1 B 11, 00930 HELSINKI. Jaosto: met.
Hirvonen, Tuomas Tapio, DI, s. 9.6.1969, kehitysinsinööri, Rautaruukki Oy, Raahe Steel.
Os.: Merikoskenkatu 11 as 7, 90500 OULU. Jaosto: met.
Inkala, Pekka Aulis, DI, s. 20.1.1964, kehitysinsinööri, Rautaruukki Oy, Raahe Steel.
Os.: Hakatie 1, 92130 RAAHE. Jaosto: met.
Karjalahti, Timo-Jussi, DI, s. 19.9.1969, tutkimusinsinööri, Rautaruukki Oy, Raahe Steel.
Os.: Maljatie 10 A 2, 90250 OULU. Jaosto: met.

Koski, Saara Ulla Anneli, DI, s. 2.11.1971, tutkimusinsinööri, Rautaruukki Oy, Raahe Steel.
Os.: Koulukuja 4 H 103, 92120 RAAHE. Jaosto: met.
Kuivasaari, Tapio Aarne, FM, s. 10.1.1946, geologi, teoll. miner. ja rakenn. kivien etsintä, GTK, Kuopio.
Os.: Härkätie 17, 70780 KUOPIO. Jaosto: geo
Lipponen, Mari Annukka, 80 ov, s. 10.6.1974, opiskelija, Helsingin yliopisto,
Os.: Antti Korpintie 4 C 8, 00600 HELSINKI. Jaosto: geo.
Peltoniemi, Mari Susanna, 110 ov, s. 31.5.1972, opiskelija, sovellettu geofysiikka.
Os.: Pietarinkatu 20 C 10, 00140 HELSINKI. Jaosto: geo.
Rajakallio, Pauli Kalevi, ins., s. 3.6.1950, tuotesuunnittelupäällikkö, Tamrock Oy, Tampere.
Os.: Kiurutie 4, 33450 SIIVIKKALA. Jaosto: kai.
Saarimäki, Katja Helenea, DI, s. 27.12.1971, tutkimusinsinööri, Rautaruukki Oy, Raahe Steel.
Os.: Pirkänkarinkatu 15 A 1, 92100 RAAHE. Jaosto: met.

UUTTA JÄSENIÄ – NYTT OM MEDLEMMARNA

FM **Olli-Pekka Isomäki** toimii Outokumpu Finnmines Oy:n Hituran kaivoksen kaivosgeologina.
DI **Helena Niemi**, projektinohjausinsinööri, Outokumpu Engineering Services Oy, Os.: Haarakuja 10 E, 02320 Espoo.
FT **Marjatta Perttunen** on nykyisin FT **Marjatta Koivisto**.
DI **Aune Pulkkinen** uusi osoite on Malminaraitti 28 A 9, 00700 Helsinki.

Nyt, tytöt ja pojat,
ryhtykää kirjoittamaan ja
mainostamaan
omassa lehdessämme!

Toimitus

Nu, flickor och pojkar,
börja skriva och
annonsera
i Er egen tidskrift!

Redaktionen

Pahtavaaran kultakaivoksen rakentaminen aloitettiin

Sodankylän Pahtavaaran kultaesiintymän löysi Geologinen tutkimuskeskus vuonna 1985. Vuonna 1991 esiintymä siirtyi tarjouskilpailun tuloksena Terra Mining Oy:lle. Terra Mining Oy on suomalainen yhtiö, jonka omistavat ruotsalainen Terra Mining AB, ja suomalainen Maanrakennus E. Hartikainen Oy. Kaivoshankkeen noin 20 miljoonaa markkaa maksaneen tutkimus- ja suunnittelutyön tuloksena muurattiin 11.9.1995 Pahtavaaran kaivoksen rikastamon peruskivi. Peruskiven muurauksessa oli läsnä sekä kauppa- ja teollisuusministeri Antti Kalliomäki että ympäristöministeri Pekka Haavisto. Molempien ministerien, paikallisten poroisäntien ja kyläläisten samanaikainen läsnäolo tilaisuudessa osoittaa eri tahojen huomioon ottamisen tärkeyttä nykyisissä kaivoshankkeissa.

Kokonaisuudessaan kaivoksen ja rikastamon investointibudjetti on noin 70 miljoonaa markkaa. Investoinnin välitön työllistävä vaikutus on 50 henkilöä, joista puolet tulee työskentelemään rikastamolla, ja

puolet louhinta- ja kuljetustöissä. Kaivoksen suunnittelusta on vastannut Terra Mining Oy:n ja AB:n lisäksi mm. Davy International Ltd. Kaivoksen ja rikastamon rakentamisprojektin vetäjänä on JS-Terasto Oy.

Tutkimusten perusteella Pahtavaaran kaivoksen toiminta-aika on 5–7 vuotta. Tämä arvio perustuu pelkästään nykyiseen kaivosalueeseen, johon yhtiön tutkimustoiminta on tähän mennessä keskittynyt. Terra Mining Oy on käynnistänyt jatkotutkimukset kaivosalueen välittömässä yhteydessä olevilla valtausalueilla, joita on lähes 2000 hehtaaria.

Kaivoksen louhintamääräksi on suunniteltu keskimäärin 400 000 t/a. Kulta rikastetaan erilaatuisiksi rikasteiksi, jotka kuljetetaan muualle edelleen rikastettavaksi puhtaaksi kullaksi. Kultatuotanto Pahtavaaran kaivoksesta tulee olemaan noin 1 000 kg/a.

Vuorimiesyhdistys ja POHTO järjestävät kurssin

Sovellettu mineralogia kaivos- ja metallurgisessa teollisuudessa

Aika ja paikka:	16.–17.4.1996, POHTO, Oulu
Tavoite:	Kurssilla tuodaan esille sekä opetetaan soveltamaan mineralogian ja sen uusien tutkimusmenetelmien suoria mahdollisuuksia rikastustekniikassa, metallurgisen teollisuuden materiaalien rakennetutkimuksessa ja valmistuksessa sekä malmien arvioinnissa.
Kohderyhmä:	Rikastajat ja metallurgit tutkimus-/kehitystehtävissä ja tuotannossa sekä geologit, jotka tarvitsevat työssään soveltavaa mineralogian.
Sisältö:	Ohjelman suunnittelusta vastaa rikastus- ja metallurgijaoston yhteinen suunnittelutyöryhmä. Luennoitsijoina on alan ulkomaisia ja kotimaisia asiantuntijoita. Mineralogian perusteiden, uusien tutkimusmenetelmien ja -välineiden ohella ohjelmassa on runsaasti käytännön sovellusesimerkkejä. Tilaisuuden yhteyteen järjestetään myös alan laite-esittely.
Tiedustelut:	Kouluttaja Markus Hietala, POHTO, puh. 981-550 9700.
Ilmoittautuminen:	POHTO, Vellamontie 12, 90500 Oulu puh. 981-550 9722 fax: 981-550 9840
Laite-esittely ja posterit	Halukkaita laite-esittelijöitä ja postereiden esittäjiä pyydetään sopimaan asiasta POHTON kanssa mahdollisimman pian, kuitenkin viimeistään 15.3.1996. Yhteyshenkilöt ovat koulutussiht. Irja Kellokoski ja kouluttaja Markus Hietala.

EAPKY – Kustaana Kössölässä

ISRM:n 8. KANSAINVÄLINEN KALLIOMEKANIikka-KONGRESSI JAPANISSA 24.–30.9.1995

International Society for Rock Mechanics (ISRM) järjesti kahdeksannen kansainvälisen kalliomekaniikkakongressin syyskuun lopussa Tokiossa. Kansainvälinen kongressi, minkä yhteydessä pidetään myös ISRM:n Council'in viralliset kokoukset ja valitaan toimihenkilöt seuraavaksi kaudeksi, järjestetään joka neljäs vuosi. Seurava tilaisuus pidetään vuonna 1999 Ranskassa. Suomessa ISRM:ia edustaa Suomen kalliomekaniikkatoimikunta, jonka perustajina ovat olleet Vuorimiesyhdistys, Rakennusgeologinen Yhdistys sekä Suomen Geoteknillinen Yhdistys, jotka vuorollaan ovat vastuussa kalliomekaniikkatoimikunnan toiminnasta ja taloudenhoidosta, ja joiden edustajat ovat myös toimikunnan johtokunnassa. Vuorimiesyhdistyksen edustajat nimittää yhdistyksen hallitus kaivosjaoston esitysten perusteella. Tällä hetkellä VMY:n edustajia kalliomekaniikkatoimikunnassa ovat dos. Pekka Särkkä ja DI Pauli Syrjänen.

Osanottajia oli yhteensä 650, joista ulkomaalaisia alle puolet ja näistä suomalaisia 4. Kongressia koskeva informaatio kulki osanottajille ja esitelmöitsijöille kovin myöhässä. Tästä syystä esimerkiksi ensimmäisen päivän poster-esitelmistä puuttui 60 %. Paikan päällä järjestelyt oli kuitenkin hoidettu moitteettomasti ja japanilaisen täsmällisesti.

Tämäkertaisen kongressin pääteemat olivat "Informaatiojärjestelmät ja uudet teknologiasovellutukset kalliomekaniikassa", Geologinen tutkimus ja testaus", "Kallion fysikaaliset ominaisuudet ja mallinnus", "Louhinta lähellä pintaa: Luiskien vakavuus, perustukset", "Maanalaisten tilojen louhinta ja pysyvyys", sekä "Veden virtaukset ja aineiden kulkeutuminen kalliomassassa".

Kongressiin oli hyväksytty yhteensä noin 200 esitelmää, joista 65 pidettiin suullisesti. Suomalaisia esitelmää oli hyväksytty yhteensä 5. Suullisesti esitettäväksi oli kutsuttu esitelmät "Characterisation of Subsurface Structures by Remote Sensing", Calin Cosma, joka oli nk. key-note-esitelmä ja "Compressed Air Energy Storage in Mine; Prefeasibility Study"; Anne Vääänen. Posterina esitettiin esitelmä "Long Term Performance of Cement Grouted Rebar Bolts", Seija Sundholm.

Kongressin pitopaikka oli Harumin kongressikeskus, joka sijaitsee reilun puolen tunnin junamatkan päässä Tokion "keskustasta". Alueella on käytännöllisesti katsoen pelkästään hotelleja ja kongressitiloja, mikä on tietysti osanottajille edullista. Säätsuosivat osallistujia ja yksi lyhyehkö maanjäristyksen heilutteli meitä esimerkinomaisesti.

**VUORITEOLLISUUS
BERGSHANTERINGEN**

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



**VUORITEOLLISUUS
BERGSHANTERINGEN**

*tillönskar alla sina
läsare och
annonsörer
God Jul och
Gott Nytt År*

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



BOART LONGYEAR OY

Kallioporakalustot alansa ammattilaiselta

Kumpusaarentie 6, 70620 KUOPIO
Puh. 971-262 5252, Fax 971-261 9917



POLYURETAANTUOTTEITA

POLYURETAANITUOTTEET

- TELOJEN, PYÖRIEN JA RULLIEN PINNOITUKSET
- KAAVARIEN TERÄPALAT JA MUUT KULUTUSOSAT
- KÄYTTÖTARKOITUKSEN MUKAISET RAAKA-AINEET

KANTAVUUTTA JA KULUTUSKESTÄVYYTTÄ



Valimontie 1 /PI 1 puh. (953)453 4771
54100 JOUTSENO fax (953)453 4100

NEUVONTA • SUUNNITTELU • VALMISTUS

PUMPPUJA



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

- Pumput
- Syklonit
- Venttiilit

LÄMPÖKÄSITTELYTEKNIIKKAA

SARLIN
Furnaces



OY E. SARLIN AB Uunit

Järvihaantie 10, 01800 KLAUKKALA
Puhelin: (90) 879 7277 • Telekopio: (90) 879 7280

SUODATINKANKAITA



TAMFELT

Tamfelt Oy Ab
Suodatinkankaat
PL 427, 33101 TAMPERE
Puh. (931) 363 9111
Telefax (931) 363 9608



METALLIEN KIERRÄTYSTÄ JA JALOSTUSTA

*Metallien kierrätystä ja jalostusta
vuodesta 1914 alkaen*



KUUSAKOSKI OY
Espoo
puh. 90-811 511

MURSKAUSLAITOKSIA

MURSKAIMET - SEULAT - SYÖTTIMET
KULJETTIMET - MURSKAUSLAITOKSET

Nordberg

NORDBERG-LOKOMO OY

Lokomonkatu 3

PL 306, 33101 TAMPERE

Puh. 931-250 1111

Telefaxit: 931-250 1207 myynti,
931-250 1400 kulutus- ja varaosat

TUTKIMUSPALVELUT



OUTOKUMPU RESEARCH

GEOANALYYTTINEN LABORATORIO

Mineraali- ja alkuaineanalytiikka
Materiaali- ja mineraalitutkimukset

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

TUTKIMUSURAKOINTIA

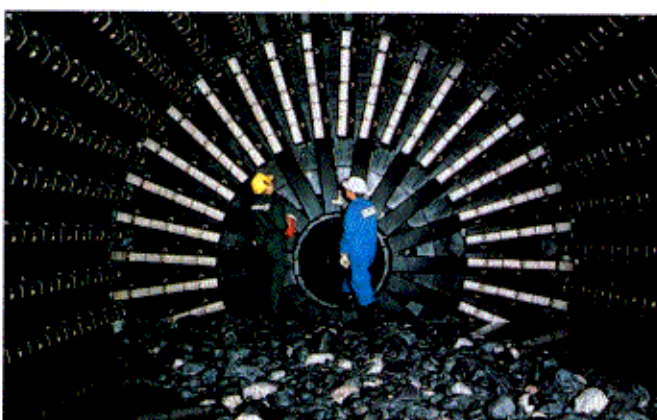
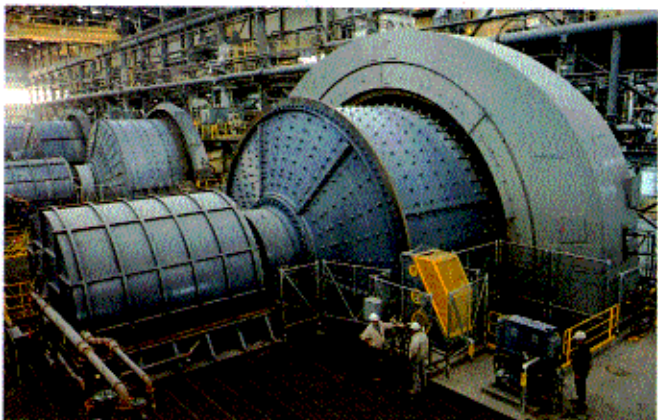
SMOY

SUOMEN MALMI OY

PL 10
02921 ESPOO

PUH 90 - 8524 010
FAX 90 - 8524 0123

SVEDALA ON VAHVASTI MUKANA PERUSTEOLLISUUDESSA



Kansainvälinen Svedala kehittää, valmistaa ja markkinoi maailmanlaajuisesti tuotteita ja järjestelmiä maanrakentamiseen, kaivosteollisuuteen, mineraalinkäsittelyyn ja materiaalin siirtoon.

Keskeisillä toimialoillaan Svedala on yksi maailman johtavista yrityksistä. Monet yhtiön valmistamat tuotteet ovat ykkösasemassa maailman markkinoilla.

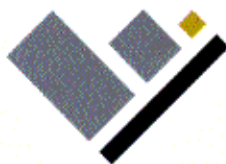
Laaja johtavien tuotteiden valikoima, voimakas kehittämistoiminta yhteistyössä käyttäjien kanssa heidän tarpeidensa mukaisesti sekä hyvä palvelu ovat Svedalan toiminnan perusta.

Svedalan tuoteryhmien väliset synergiaedut ja suuruuden taloudellisuus koituvat asiakkaan hyväksi niin suurissa kuin pienissäkin investoinneissa.

Oy Svedala Ab palvelee suomalaista perusteollisuutta erityisesti kaivos- ja mineraaliteollisuudessa, materiaalin siirrossa, puunjalosteollisuudessa, energianhuollossa, sekä rakennus- ja maanrakennustoiminnassa.

Oy Svedala Ab vastaa Svedalayhtiön tuoteryhmien maahantuonnista, markkinoinnista ja huollosta Suomessa. Yhtiöön kuuluu myös Tampereen kuljetinhinnoitehdas.

SVEDALA



Oy Svedala Ab

Salmitie 4, 02430 Masala.
Puh. (90) 221 950. Fax (90) 2219 5292.

MURSKAUS JA SEULONTA

Svedala on maailman johtava murskaus- ja seulonta-alan koneiden, varusteiden ja järjestelmien toimittaja.

Allis Mineral Systems

Murskaimet, seulat, murskauslaitosten varusteet ja laitosten kokonaisjärjestelmät eri materiaalien käsittelyyn.

KULUTUSKUMIT

Svedalan kulutuskumit ja kuljetinhinnat ovat käytössä kohteissa, joissa vaaditaan vahvaa kulutuksen ja repimisrasituksen sietoa.

Trellex/Skega

Kulutuskumit mm. jauhatusmyllyihin, syöttösuppiloihin ja louheajoneuvoihin.

Trellstep

Kumi- ja polyuretaaniseulaverkkojen laaja, patentoitu järjestelmä.

PUMPUT JA PROSESSIKONEET

Svedala on maailman suurimpia laitteiden ja prosessijärjestelmien toimittajia mineraalien rikastukseen ja metallien jalostukseen.

Denver Sala

Laitteet ja järjestelmät jauhatus-, pumppaus-, rikastus-, suodatus- ja kuivatus- sekä muihin mineraaliteollisuuden prosesseihin.