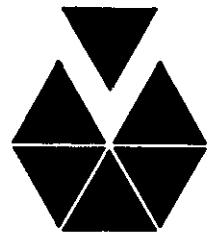


VUORITEOLLISUUS

BERGSHANTERINGEN



N:o 1 1982
40. vuosikerta

Julkaisija: Vuorimiesyhdistys – Bergsmannaföreningen r.y.

H																	He
Li	Be											B	C	N	O	F	Na
Na	Mg											Al	Si	P	S	Cl	Ar
K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr
Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe
Ca	Ba	La	Hf	Ta	W	Ra	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn
Fr	Ra	Ac	Th	Pa	U												



HAURASTAVA
ALKUAINE



SUOTAUTUU YHDESSÄ
EPÄPUHTAUDEN KANSSA

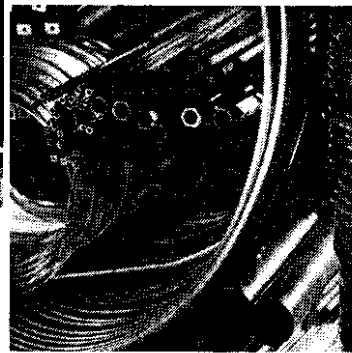
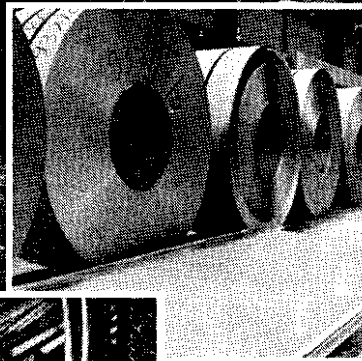
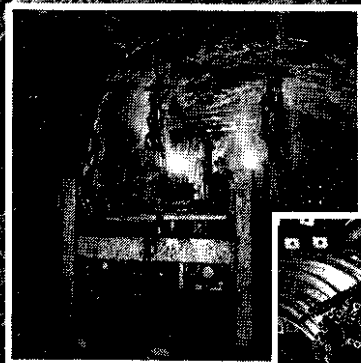


LISÄÄ RAERAJAN
KOHEESIOTA



EHKÄISEE (HIDASTAA)
SUOTAUTUMISTA

HAASTEENA VAIKEAT MALMIT



Suomessa löydetyt malmit ovat olleet vaikeita hyödyntää. Niiden jalostaminen on vaatinut työtä ja luovaa ajattelua.

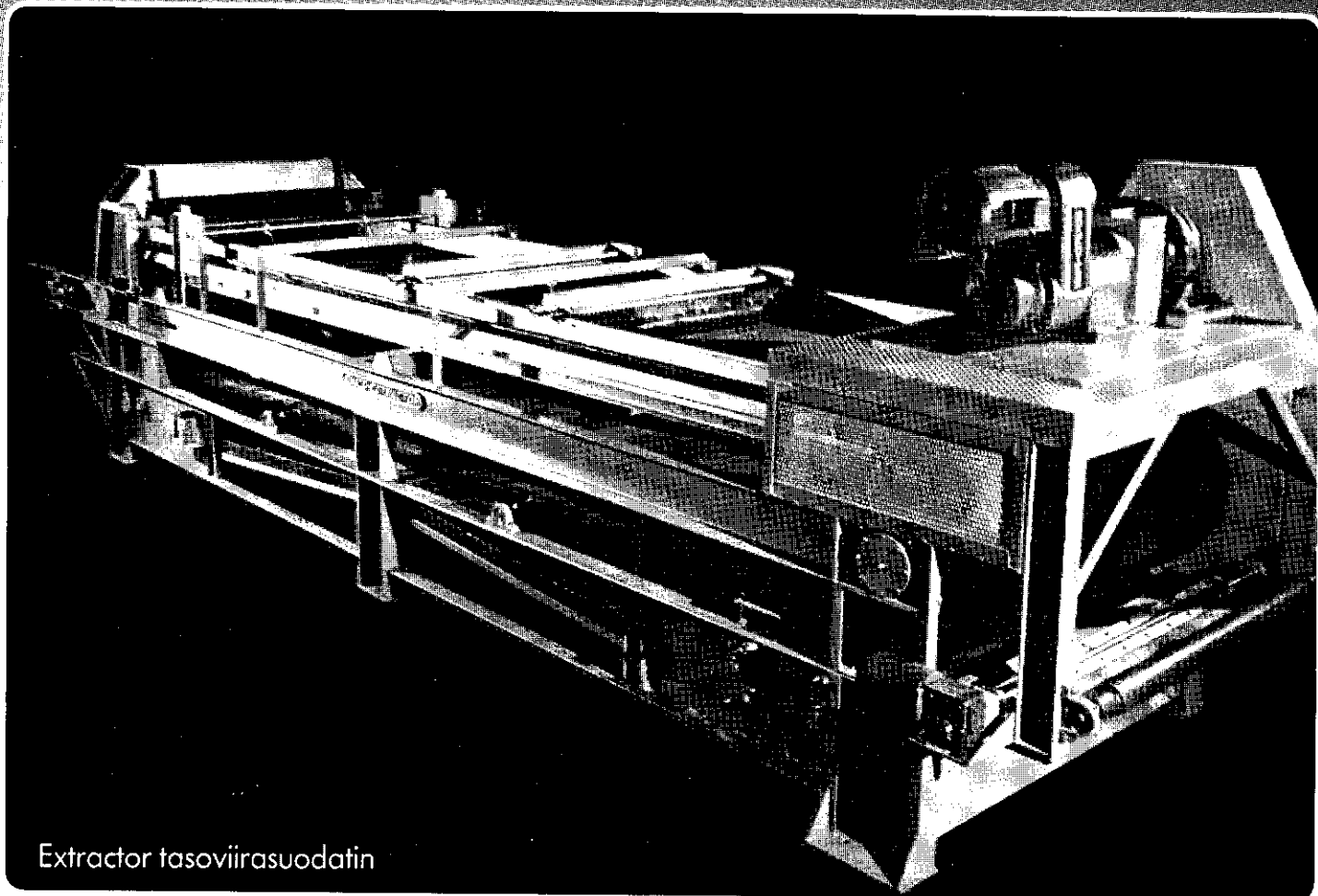
Outokumpu Oy on tässä onnistunut. On luotu uusia rikastus- ja sulatusmenetelmiä. On myös määrätietoisesti kehitetty metallien jatkojalostusta.

Näin on rakennettu kansainvälisesti tunnettu monimetalliyhtiö, joka tuo hyvinvointia ja vaurautta maallemme.

Outokumpu Oy täyttää tänä vuonna valtionyhtiönä 50 vuotta. Työ malmeista metalleiksi jatkuu.

50
OK
1932 **OK** 1982
OUTOKUMPU OY

KAIVOSTEOLLISUUDEN SUODATTIMET JA SAKEUTTAMET ENSOLTA



Extractor tasoviirasuodatin

Enso-Konepajaryhmä tarjoaa kaivosteollisuudelle laajan ohjelman suodattimia ja sakeuttimia kiinteiden aineiden erottamiseksi nesteistä.

- EimcoBelt suodattimia
- Extractor suodattimia
- Agidisc kiekkosuodattimia
- Tilting Pan suodattimia
- Rumpusuodattimia
- Painesuodattimia
- Top Feed suodattimia
- Precoat suodattimia
- Sakeuttimia
- Selkeyttimiä

Näiden Envirotech Corporation'in lisenssillä valmistamiemme laitteiden luotettavuudesta kertovat lukuisat referenssit kaivosteollisuudesta ympäri maailmaa.



ENSO-GUTZEIT OY

KONEPAJARYHMÄ

PL 34, 57101 SAVONLINNA 10

PUHELIN 957-21936, TELEX 5613 enso sf

OY GRÖNBLOM AB

KAIVOS- JA PROSESSITEOLLISUUDESSA

SECOROC

kallioporat

ALIVA

ruiskutuslaitteet

FAGERSTA

jauhinkappaleet

SCHAUENBURG

tuuletusputket

HEWITT ROBINS

seulat ja syöttimet

DEMAG

koneet ja laitteet



GIA

paineilmaliittimet
ja kaivosveturit

DIDIER

tulenkestävät tuotteet

MORGAN

tulenkestävät tuotteet

METALLURGICA

valu- ja peitepulverit

UGNSBOLAGET

TABO/OSMUND

uunit ja polttimet

MEKAANIKONKATU 6
00810 HELSINKI 81
PUH. (90) 755 4411

VUORIKONEELTA TUNNETUT LAATUTUOTTEET

KHD HUMBOLDT WEDAG

koneet ja laitteet

STEINHAUS

seulapinnat ja kuljettimet

VUORIKONE OY

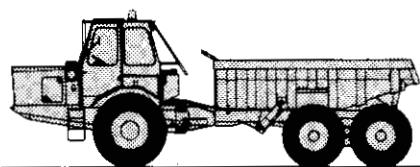
PL 81, 00811 HELSINKI 81, PUH. (90) 755 4420

PARANNA KANNATTA- VUUTTASI KOCKUMSIN ERIKOISKALUSTOLLA.

– Dumpperit –

KOCKUM 414 B

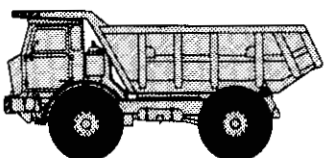
Kuormatila	12 m ³
Kantavuus	20 t
Teho	155 kW
Nopeus	30 km/h



– Maansiirtoautot –

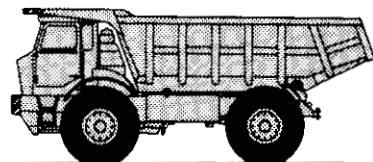
KOCKUM 425 B

Kuormatila	15 m ³
Kantavuus	22,5 t
Teho	213 kW
Nopeus	56 km/h



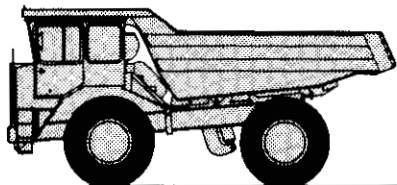
KOCKUM 442 B

Kuormatila	20,6 m ³
Kantavuus	32 t
Teho	295 kW
Nopeus	59 km/h



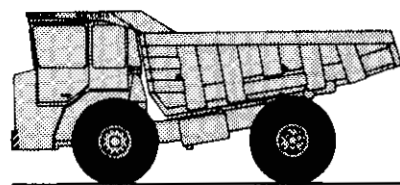
KOCKUM 540

Kuormatila	23 m ³
Kantavuus	36,3 t
Teho	335 kW
Nopeus	65 km/h



KOCKUM 445

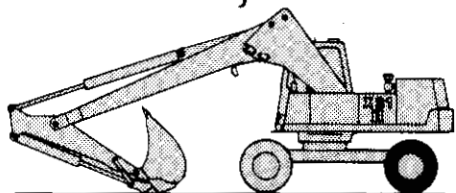
Kuormatila	27,6 m ³
Kantavuus	40,5 t
Teho	377 kW
Nopeus	72 km/h



– Kaivu- ja kuormauskoneet –

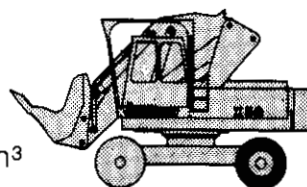
BRØYT X 21

Paino	12,5 t
Kauhan tilavuus	0,6 m ³



BRØYT X 50

Paino	45 t
Kauhan tilavuus	4,0 m ³



Kovissa urakoissa pärjää vain kovilla koneilla. Ja kone joka seisoo usein korjattavana, ei ole kannattava omistajalleen. Siksi sinun kannattaa siirtyä kestäväan ja tehokkaaseen Kockums-kalustoon. Kockums saattaa olla ratkaiseva valttisi myös urakoista kilpaillessasi, sillä urakoiden antajat kiinnittävät tänään yhä enemmän huomiota kalustoosi. Soita tai tule käymään.

KOCKUMS INDUSTRI

Veromiehen teollisuusalue
01510 Vantaa 51. Puh. 90-826355

Näin Ovakon uudet M-teräkset
säästävät selvää rahaa

Case 2

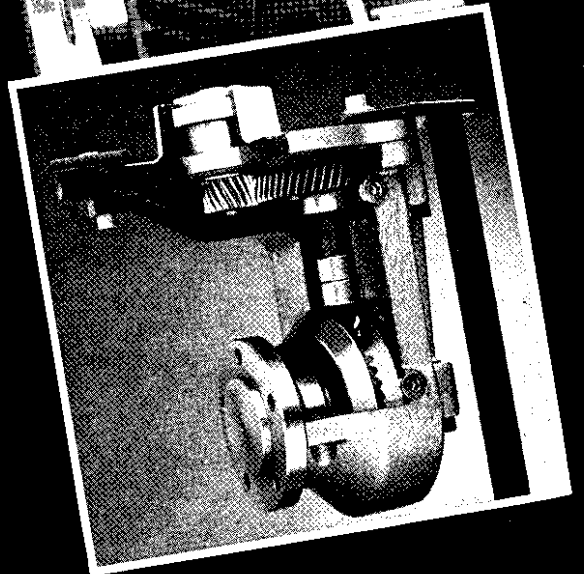
Hammaspyöriä Tampereella valmistava Katsa Oy lisäsi lieriöhammaspyörien vierintä-
iyrinnässä tuotantoa yli 20% käyttämällä
Ovakon paremmin lastuttavaa M-terästä.

Ovakon kehittämällä paremmin lastuttavilla
standarditeräksillä — M-teräksillä — saavute-
taan ratkaisevia kustannussäästöjä. Lastuavassa
työstössä terät kestävät kaksinkertaisen — jopa
kolminkertaisen ajan. Vaihtoehtoisesti lastuamis-
nopeutta voidaan lisätä. Hylättyjen kappaleiden
määrä pienenee, koska asetussäätöjä tarvitaan
harvemmin.

Katsa Oy on saavutettuihin tuloksiin tyytyväi-
nen ja tutkii mahdollisuuksia siirtä tuotannos-
saan Ovakon uusiin M-teräksiin.

Ovakon M-teräksiä saat nyt myös suoraan
varastostamme Turengista. Lisätietoja antaa
Juhani Nyrkiö, Tekninen asiakaspalvelu,
puh. 90-61 621.

Postita oheinen kuponki niin saat esitteen,
jossa seikkaperäisesti kerromme Katsa Oy:n
kokemuksista.



 **OVAKO**
SUOMALAISTA TERÄSTÄ

Haluan lisätietoja Ovakon uusista M-teräksistä
 Lähettäkää heti "Ovakon uudet M-teräkset säästävät selvää rahaa Case 2"-esite

Ottakaa yhteys puhelimitse

Nimi _____

Yritys _____

Osoite _____

Puh. _____

Palautusosoite: OVAKO Oy · Ab,
"Tekninen asiakaspalvelu"
PL 790, 00101 HELSINKI 10

Tunnettu suomalainen ratkaisu, jossa kuumavalssatut RHS-putkipalkit ovat rakennuksen runko.



RHS-putkipalkki on ensimmäinen kuumavalssattu putkipalkki Suomessa. Erilaisissa rakenneratkaisuissa RHS-putkipalkki on usein vahvin, kevyin sekä ulkonäöltään siroin vaihtoehto.

Läpikotaisin tutkittu tuote

Kuumavalssatuille ja kylmämuokatuille rakenneputkituotteille on määrätty erikseen omat kansainväliset ISO-standardit. Kuumavalssattujen RHS-putkipalkkien aineodistusten koetusarvot on otettu aina valmiista tuotteesta eikä tuotteeseen käytetystä raaka-aineesta. Kuumavalssauksen ansiosta RHS-putkipalkkien jännösjännitykset ovat olemattoman pienet.

Jopa kaksinverroin kantavampi

Kun verrataan samanpituisten ja -painoisten, mutta muodoltaan erilaisten profiilien nurjahduskuormitusta toisiinsa (Eulerin 2. nurjahdustapa), saadaan RHS-putkipalkkeille jopa kaksinkertainen arvo. Kuumavalssatut RHS-putkipalkit ovat erittäin luotettavia kaikissa mekaanisissa- ja väsymiskuormituksissa. Lisää kuormituskykyä saadaan vielä täyttämällä RHS-pilari betonilla.

Täydellinen tuotevalikoima

Neliomaiset (20x20–400x400 mm) ja suorakaiteiset (50x30–450x250 mm) ovat jo monelle suunnittelijalle ja rakentajalle tutut. RHS-valikoimaa täydentävät nyt myös pyöreät (CHS) rakenneputket (Ø 21,3–457 mm). Kaikkia näitä on saatavana kahtena eri teräslaatuna. RHS-putkipalkkien paras mahdollinen mittatarkkuus varmistaa myös modulaaritekenteiden varman onnistumisen.

RHS-teräslaadusta, mitoista ja muista teknisistä ominaisuuksista kerrotaan tarkasti RHS-kasikirjassa. Jollei sinulla sitä ole, niin kysy edustajaltamme tai varastoijiltamme.

Valmistaja: British Steel Corporation
Tubes Division



Pääedustaja Suomessa **RAUTAKONTTORI OY**
RHS-myynti, PL 379
00101 HELSINKI 10
Puh. 90-17301, telex 12-4513

Myynti: Rautakonttori Oy,
Rauta- ja Konetarve Oy,
Oy Starckjohann & Co Ab ja
muut hyvinvarustetut RAUTIA-rautakaupat.

PORAUSTYÖN AMMATILLAISELLE



KOMETA

Suomalaisia kallioporia vuodesta 1951

OY AIRAM AB

KOMETA

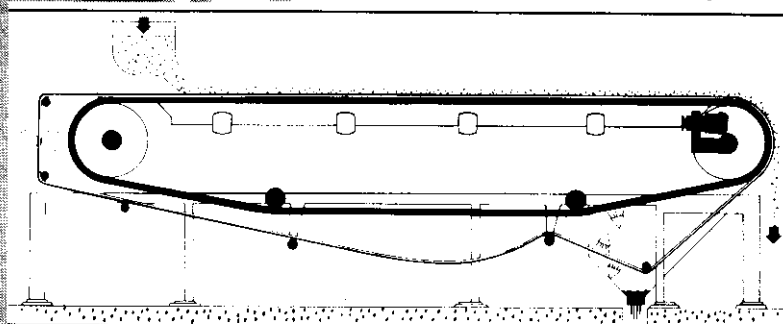
Palokärjentie 2, 02660 ESPOO 66
Lintuvaara Puh. 90-514 066

SALA

HIHNASUODATIN MALLI NORDENGREN RASKAASEEN KÄYTTÖÖN

Salan hihnasuodatin on tehokas, rakenteeltaan yksinkertainen ja vankka suodatin. Se tarjoaa tavallisia imusuodattimia laajemmat käyttömahdollisuudet.

- Syöttö ylhäältä ja optimaalinen erotusteho.
- Jatkuva kankaan pesu vedenerotusvaiheen aikana.
- Suodinkakun vastavirtapesu.
- Useassa vaiheessa tapahtuva lämpöenergian syöttö, jossa voidaan käyttää höyryä tai infrapunasäteilyä.



Salan hihnasuodatin malli Nordengren on saavuttanut suuren suosion mm. seuraavien aineiden käsittelyssä:

- malmirikasteet
- kipsi (fosforihappo)
- suolalietteet
- uraanirikasteet



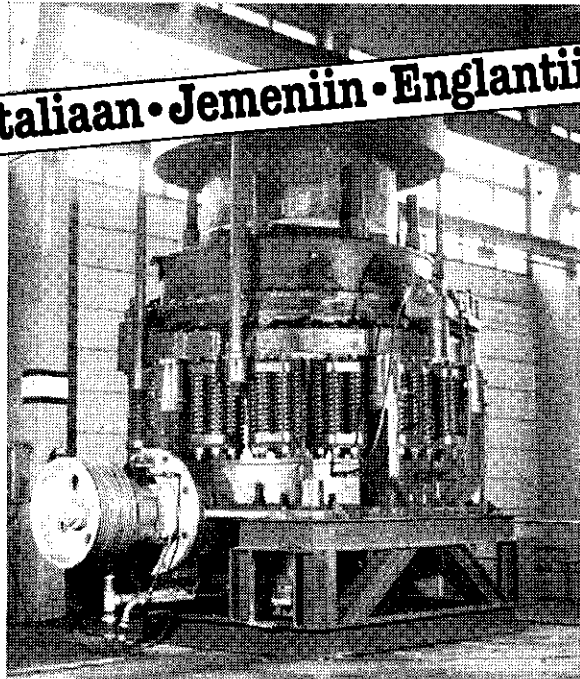
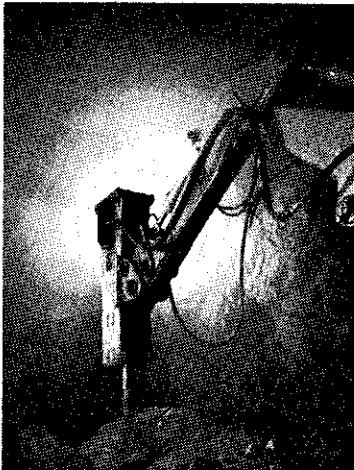
TALLBERG
vuorikoneet

Karapellontie 11, 02610 ESPOO 61, puh. 90-594 011

Täydellisiä laitoksia - yksittäisiä koneita ja laitteita kaivosteollisuudelle

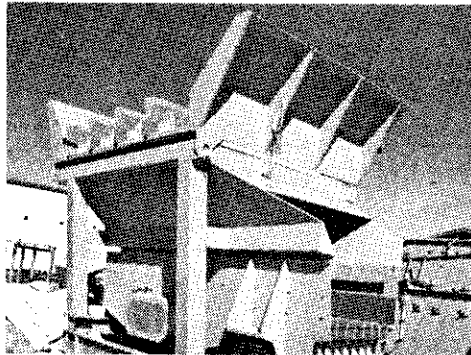
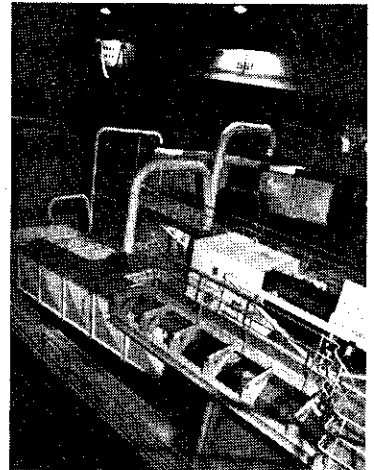
Ekkiin • Filippiineille • Italiaan • Jemeniin • Englantiin • Ruotsiin • Kotimaahan

ROXON hydraulinen iskukone

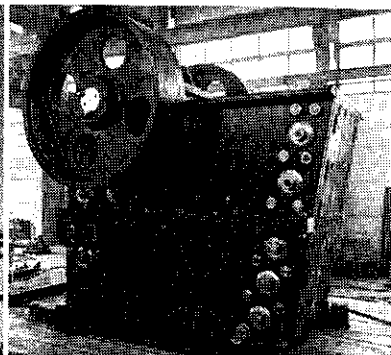


ROXON kartiomurskain

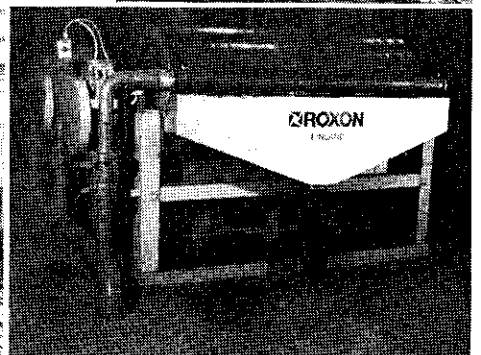
ROXON seuloja



ROXON tärysyötin



ROXON leukamurskain

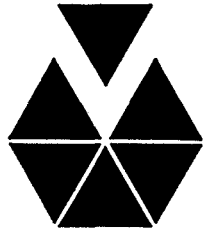


ROXON magneettierotin

KONE

KONE OY
Engineering division
15870 Salpakangas
Puh. 918-801311
Telex 16-180 konex sf

VUORITEOLLISUUS BERGSHANTERINGEN



N:o 1 1982

40. vuosikerta

Julkaisija:

**VUORIMIESYHDISTYS —
BERGSMANNAFÖRENINGEN r.y.**

HALLITUS 26. 3. 1982

DI Olli Hermonen 981-327 711
puheenjohtaja
Oulun keskuskonttori
PL 217
90101 Oulu 10

TkT Krister Relander 90-556 411
varapuheenjohtaja
Esab Oy
Kutomotie 13
00380 Helsinki 38

DI Georg Ehrnrooth 912-41 511
Oy Lohja Ab
08700 Virkkala

DI Jorma Illi 986-86 256
Rautaruukki Oy
Otanmäen kaivos
83200 Otanmäki

DI Matti Kilpinen 90-177 100
Rauma-Repola Oy
Snellmaninkatu 13
00170 Helsinki 17

TkT Kalevi Kiukkola 90-440 281
Kemira Oy
Malminkatu 30
00100 Helsinki 10

DI Lauri Koivikko 957-54 151
Ruskealan Marmori Oy
Louhen kaivos
58220 Louhi

DI Kristian Lobbas 921-742 111
Oy Partek Ab
21600 Parainen

FT Pentti Rouhunkoski 90-4 211
Outokumpu Oy
Malminetsintä
PL 27
02201 Espoo 20

DI Antti Tuomala 939-26 111
Outokumpu Oy
Porin Tehtaat
PL 60
28101 Pori 10

TkT Kari Tähtinen 954-63 688
Ovako Oy Ab Imatra
55100 Imatra 10

Yhdistyksen sihteeri:
I DI Erkki Tyni 981-327 711
Rautaruukki Oy
Keskuskonttori
PL 217
90101 Oulu 10

II DI Heikki Savolainen 912-41 511
Oy Lohja Ab
08700 Virkkala

Yhdistyksen rahastonhoitaja:
DI Olavi Paatsola 981-327 711
Rautaruukki Oy
Oulun keskuskonttori
PL 217
90101 Oulu 10

SISÄLTÖ ■ INNEHÄLL

Jorma Honkasalo: Suomen vuoriteollisuuden nousu ja merkitys 1900-luvulla	9
Mikko Tontti, Esko Koistinen ja Matti K. A. Lehtonen: Malmiesiintymien löytymiseen vaikuttaneista tekijöistä	13
Jorma Rekola: Happikonvertteriprosessin kehitysnäkymiä	19
Arun B. Mukherjee: Lead — a strategic metal	24
Heikki Jalkanen ja Antti Roine: Epäpuhtauksien käyttäytymisestä kuparin pyrometallurgiassa	27
Kaj Österlund: Epäpuhtaudet ja haurausilmiöt kuparissa	32
Mauri Veistinen: Epäpuhtauksien vaikutus terästen mur- tumiskäyttäytymiseen	37
Ilkka Lahti: Epämetallisten sulkeumien vaikutus teräksen kylmämuovattavuuteen	46
Kyösti Saarhelo: Jatkuvatoimisen röntgenfluoresenssianalyysin uudet sovellutukset	56
Antero Honkasalo: Entropian kasvun laki ja ihmiskunnan globaalit ongelmat	62
Toimi Lukkarinen: Teollisuusmineraaliseminaari Otaniemessä	67
Uusia jäseniä — Nya medlemmar	72
Uutta jäsenistä — Nytt om medlemmarna	73
Suoritettuja tutkintoja — Avlagda examina	75
Vuorimiesyhdistys — Bergsmannaföreningen r.y. vuosikertomukset	81
Tilastotietoja vuoriteollisuudesta	85

Kansikuva:

(M. Veistinen, kuva 2)

Eri alkuaineiden vaikutus ylempään päästöhaurauteen (viitteen /4/ mukaan).

Cover:

(M. Veistinen, fig. 2)

Periodic chart showing the role various elements play in reversible temper embrittlement.

	HAURASTAVA ALKUINE		SUOTAUTUU YHDESSÄ EPÄPUHTAUDEN KANSSA
	LISÄÄ RAERAJAN KOHEESIOTA		EHKÄISEE (HIDASTAA) SUOTAUTUMISTA

Geologijaosto

FT Kauko Puustinen, pj. 90-46 931
Geologinen tutkimuslaitos
02150 Espoo 15

FM Maria Nikkarinen, siht. 971-164 411
Geologinen tutkimuslaitos
PL 237
70101 Kuopio 10

Kaivosjaosto

Prof. Raimo Matikainen, pj 90-4566 206
Teknillinen korkeakoulu
Vuoriteollisuusosasto
Vuorimiehentie 2
02150 Espoo 15

TkT Pekka Särkkä, siht. 90-4566 207
Teknillinen korkeakoulu
Vuoriteollisuusosasto
02150 Espoo 15

Metallurgijaosto

DI Matti Palperi, pj. 90-6162 713
Ovako Oy Ab
PL 790
00101 Helsinki 10

DI Nils-Göran Mattfolk, siht. 925-61 211
Ovako Oy Ab, Dalsbruk
25900 Taalintehdas

Rikastus- ja prosessiteknillinen jaosto

Prof. Toimi Lukkarinen, pj. 90-4566 199
Teknillinen korkeakoulu
Mineraaliteknikan laboratorio
02150 Espoo 15

DI Hannu Kempainen, siht. 90-4 211
Outokumpu Oy
PL 27
02201 Espoo 20

Tutkimusvaltuuskunta

DI Timo Välttilä, pj. 984-41 250
Outokumpu Oy
Pyhäsalmen kaivos
86900 Pyhäkumpu

— Geologinen toimikunta:

FM Esko Lundén, pj. 921-744 422
Oy Partek Ab
21600 Parainen

— Kaivosteknillinen toimikunta:

Prof. Raimo Matikainen, pj. 90-4566 206
Teknillinen korkeakoulu
Vuoriteollisuusosasto
Vuorimiehentie 2
02150 Espoo 15

— Rikastusteknillinen toimikunta:

DI Risto Rinne, pj. 90-46 911
Ekono Oy
Tekniikantie 4, Otaniemi
PL 27
00131 Helsinki 13

Tutkimusvaltuuskunnan ja sen toimikuntien sihteeri:

DI Antti Öhberg 90-4566 209
Teknillinen korkeakoulu
Vuoriteollisuusosasto
Vuorimiehentie 2
02150 Espoo 15

Vuoriteollisuus — Bergshanteringen:

Päätoimittaja - Chief editor:
Prof. Martti Sulonen 90-4566 147
Teknillinen korkeakoulu
Vuoriteollisuusosasto
02150 Espoo 15

Toimittaja - Editor:
TkT Pekka Särkkä 90-4566 207
Teknillinen korkeakoulu
Vuoriteollisuusosasto
02150 Espoo 15

Toimitussihteeri - Editorial secretary and advertisements:
Rouva Kaija Marmo 90-462 192
Otakallio 2 B 19
02150 Espoo 15

Toimitusneuvosto - Editorial board:

TkT Kalevi Kiukkola, pj. 90-440 281
Kemira Oy
Malminkatu 30
00100 Helsinki 10

TkT Kalle Hakalehto 931-32 400
Oy Tampella Ab
Keskushallinto
33100 Tampere 10

FM Marjatta Virkkunen 90-4693 387
Geologinen tutkimuslaitos
02150 Espoo 15

DI Matti Palperi 90-6162 713
Ovako Oy Ab
Bulevardi 7
00100 Helsinki 10

DI Olli Korhonen 90-4 211
Outokumpu Oy, Tekn.vienti
PL 27, 02201 Espoo 20

DI Olavi Paatsola hoitaa Vuorimiesyhdistyksen jäsenkortistoa. Mikäli osoite, tehtävä tai vakanssi on muuttunut, pyydämme lähettämään muutosilmoituksen mieluummin kirjallisena siinä muodossa, jossa haluatte sen "Uutta jäsenistä" palstalle.
Os.: Rautaruukki Oy, PL 217, 90101 Oulu 10, puh. 981-327 711.

DI Olavi Paatsola sköter om Bergsmannaföreningens medlemsregister. Om Er adress, arbetsuppgift eller tjänst har ändrats, anhåller vi om ändringsanmälan, helst skriftligt, i "Nytt om medlemmarna" spalten.

Adr.: Rautaruukki Oy, Box 217, 90101 Oulu 10, tel. 981-327 711.

Ilmoitushinnat:

Kansisivut 2 600:—, muut sivut 2 100:—
1/2 s. 1 450:—, 1/4 s. 950:—, väri 800:—
Vuosikerta 40:—, ulkomaille 50:—
Irtonumero 20:—

Suomen vuoriteollisuuden nousu ja merkitys 1900-luvulla

Tekn.tri h.c. Jorma Honkasalo, Outokumpu Oy, Helsinki

Esitelmä Vuorimiespäivillä 26. 3. 1982

"Ge pengar åt berget, berget ger dem tillbaka." Näin sanoi aikoinaan Axel Oxenstjerna ja näitä sanoja on useaan otteeseen siteerannut eräs tunnettu seuramme jäsen — Herman Stigzelius. Nämä sanat ovat pyörineet mielessäni, kun olen miettinyt teemaa, jonka valitsin tämän esitykseni aiheeksi. Suomen kaivos- ja siihen liittyvän metallurgisen perusteollisuuden kehitysvaiheet tämän vuosisadan aikana olisi hyvä aihe oikealle historiankirjoittajalle. Se olisi kertomus siitä miten meidän vuoriteollisuutemme on kasvanut vuosisadan alun perin vaatimattomasta mittakaavasta monien vaivalloisten vaiheiden jälkeen nykyiseen tilaan, jossa sillä on huomattava merkitys Suomen talouselämälle samalla kun alan tietämyksemme taso tunnetaan maailmalla sekä tuotteiden että teknologian viennin ansiosta. Näihin vuosikymmeniin sisältyy paljon ponnistusta ja yrittämistä ja tämä historia kertoisi monen ennakkoluulottoman ja kyvykkään vuorimiehen elämäntyöstä.

Tässä esityksessäni en kuitenkaan pyri luomaan kovinkaan seikkaperäistä kuvausta näistä vuoriteollisuutemme uuden nousun vuosikymmenien kaikista tapahtumista, koska se johtaisi tällaisen lyhyen esityksen sallimissa puitteissa vain luettelomaiseen kuvaukseen. Yritän kuitenkin lyhyesti esittää pääpiirteet ja sen yhteydessä tuoda esille, mikä merkitys sillä on, että omasta maaperästä löytyy malmeja ja hyödyllisiä mineraaleja, että niitä käytetään hyväksi ja että edelleenjalostusta kehitetään omin voimin.

Kun siirrymme katsomaan tilannetta vuosisadan vaihteen tienoilla, huomaamme, että se on eräänlainen käännekohta.

Monet vanhat kaivokset, nekin, jotka 1800-luvulla edustivat vuoriteollisuutta maassamme, olivat lopettaneet toimintansa. Suomen ainoa merkittävä kuparikaivos — Orijärvi — eli hiljaiseloaan sen jälkeen kun sen toiminta oli lopetettu v. 1882. Harkkorautaa tuotettiin lähinnä Wärtsilässä ja Taalintehtaalla; Pitkäranta oli muutettu pullolasi- ja punamultatehtaaksi.

Vuosisadan ensimmäisellä vuosikymmenellä tapahtui kuitenkin eräitä merkittäviä asioita. Tärkein varmasti oli se, että 75 vuotta sitten eli v. 1907 senaatin myöntämän määrärahan turvin ryhdyttiin ruoppaamaan Kivisalmen kanavaa Rääkkylässä. Seuraukset olivat tunnettuja: helmikuun alussa löytyi 5 m³:n suuruinen malmi-lohkare, joka taas puolestaan antoi aiheen emäkallion etsimiseen ja johti lopulta Outokummun malmin löytämiseen maaliskuun 17. päivänä v. 1910. Siihen runsaan kahden vuoden pituiseen ajanjaksoon, joka kului Kivisalmen lohkaréen löytymisestä päivään jolloin timanttikaira tavoitti malmin, sisältyy ihailtava määrä etsintä-

työtä hyvin vaikeissa olosuhteissa ja alkeellisin välinein, kuten käsikäyttöisellä kairauskoneella. Oli onni, että Trüstedtillä ja Törnqvistillä monien epätoivoisten tilanteiden jälkeen riitti uskoa jopa niin paljon, että uskalsivat jatkaa kairausta, vaikka määrärahat oli jo ylitetty.

Vuosisatamme ensimmäisellä vuosikymmenellä Orijärvi herää uuteen eloon ja tällä kertaa amerikansuomalaisin voimin. Finnish American Mining Company perustettiin v. 1906 ja se ryhtyi kaivostoimintaan v. 1907. Vaikka tämän yhtiön toiminta päättyi v. 1912 vararikon, jää tämä yritys maamme vuoriteollisuuden historiaan sen takia, että nämä mainarit Amerikasta rakensivat ensimmäisen vaahdotusrikastamon Euroopassa. Yritykseltä loppuivat rahat liian aikaisin, jotta toivottu menestys olisi saavutettu.

Palatkaamme Outokumpuun. Malmin löytymisen jälkeen alkoivat rikkaaksi todetun kuparimalmin hyväksikäyttöä koskevat moninaiset ja usein varsin ihmeellisetkin selvitysvaiheet. Näihin kuuluu mm. kuparitehtaan perustaminen 1 tonnin päivätuotantoa eli 300 tonnin vuosituotantoa varten. Tekniikka oli uutta, mutta tänään jo tuttua: pasutus, liutus ja elektrolyyttinen saostus eli roast-leach-electrowinning. Idean isänä oli ruotsalais-norjalainen Hybinette, joka tunnetaan nikkelimetallurgian historiasta. Alkuvaiheisiin kuuluvat myös monimutkaiset suhteet ja niiden selvittely malmin löytäjän — valtion — ja maanomistaja Hackman & Co:n — kanssa. Nämä asiat tulivat selviksi vasta v. 1924, kun allekirjoitettiin kauppakirja, jolla Hackman möi malmioikeutensa, kaivokseen liittyvät maansa ja osuutensa yrityksestä valtiolle. Näistä Outokummun alkuvaiheista, jotka kestivät noin 20 vuotta, eli ajasta, joka kului malmin löytämisestä ennen kuin malmin varaan syntyi kunnan kaivos ja rikastamo, on pakko todeta, että ne kuvastavat nimenomaan valtion taholta vuoriteollisuutta koskevassa hankkeessa tavatonta tottumattomuutta ja kokemuksen puutetta. Näin Outokumpu Oy:n juhlavuotena tulee seilailleeksi Outokummun historiaa ja tosiaan ei voi olla ihmettelemättä miten asiat voivat olla monimutkaisia ja aikaa vieviä. Ja kysymyksessä kuitenkin oli eräs Euroopan parhaita ja rikkaimpia malmiesiintymiä. Ei ihme, että Hackman kyllästyi ja myi pois osuutensa. En malta olla palaamatta juuri tähän Hackmanin osuuden ostoon ja Outokummun kuparikaivoksen vastaista käyttöä koskevaan eduskuntakäsittelyyn joulukuussa v. 1924. Silloinen valtiovarainministeri Pulkkinen esitti lausunnossaan mm. "Kun minä tiedän, kuinka voimakas suunta täällä on vallalla Outokummun ostamiseksi, niin minä en nyt tahdo ottaa vastuulleni myöskään Outokummun oston ehkäisemistä. Mutta se, mikä minua peloittaa enimmäksin tällä

hetkellä, on asian rahataloudellinen puoli. Jos pelko ei minussa ole sen voimakkaampi kauppahintaan nähden, niin se on sitä voimakkaampi Outokummun laajentamissuunnitelmiin nähden. Minä nimittäin tahtoisin täällä saada julkilausutuksi, että tällä hetkellä ja lähivuosina ei pitäisi ryhtyä laajentamaan Outokumpua, vaan olisi sen toiminta pidettävä niissä vaatimattomissa rajoissa, missä se nyt on, vaikkakaan se tällä kertaa ei ole tuloa tuottava." Hän oli laskenut Outokummun laajennuskustannusten lähivuosina kohoavan 77 750 000 markkaan. Muutkin valtion liikelaitokset olivat hänen sanojensa mukaan niilleet samaa suuruusluokkaa olevia summia, Veitsiluoto 60—70 milj. markkaa ja superfosfaatti- ja rikkihappotehtaat noin 60 milj. markkaa. Toisessa puheenvuorossaan hän uudelleen palaa Outokummun laajennussuunnitelmiin, joita hän kauheasti pelkää. "Vastuu siitä", hän sanoo, "että Outokumpuun mahdollisesti lähivuosina käytetään hyvin paljon rahoja, ei siis lankea minun kannettavakseni."

Kuten mainitsin, vuoriteollisuus oli uutta ja outoa, mistä tietysti johtui poliitikkojen ja ministerien epävarmuus. Tässä yhteydessä on todettava, että oli sekä Outokummulle että Suomen vuoriteollisuudelle onni, että v. 1918 kiinnitettiin ensin kontrollööriksi Outokumpuun geologian tohtori ja Tukholmassa juuri opintonsa päättänyt vuori-insinööri Eero Mäkinen. Hän oli silloin maamme harvoja päteviä alan edustajia ja lisäksi hänellä oli riittävästi sitä tahdonvoimaa ja energiaa, jota niissä oloissa tarvittiin viettäessä Outokummun kehitystä järkevällä tavalla eteenpäin. Hänen kykynsä tulivat esille ja ansionsa näkyviin Outokumpua kehitettäessä 30-luvulla ja siitä eteenpäin, mutta niistä myöhemmin.

Palaan vielä ensimmäisen maailmansodan aikaan. Tällöin v. 1915 Berndt Grönblom ja Gustaf Aminoff perustivat Elektrometallurgiska Aktiebolaget'in, Oy Vuoksenniska Ab:n edeltäjän, aikana, jolloin sähkömetallurgia oli vielä melko uutta koko maailmassa. Toiminta alkoi v. 1915 piirautasulattamosta Vuoksenniskalla ja laajeni v. 1916 Nokialle. Sähkövoiman puutteen takia tämä oloisamme merkittävä pioneeritoiminta pääsi tuotantoon vasta 20-luvun lopulla ja 30-luvulla, kun Valtion Koskivoimatoimisto oli saanut Imatran voimalaitoksen rakennustyöt valmiiksi v. 1929. Sähköenergiaa oli edullisesti saatavissa ja jopa sellaisia määriä, että aikanaan moni luuli, ettei Imatran koko energiaa tulla koskaan tarvitsemaan.

Outokumpu ja Elektrometallurgiska-Vuoksenniska olivat uusia tulokkaita. Tässä yhteydessä on syytä muistaa myös vanhojen vuoriteollisuusyhtiöiden kehitysvaiheita vuosisatamme alkuvuosikymmeninä. Dalsbruk Aktiebolag kasvoi Suomen suurimmaksi rautaruukiksi ja ensimmäisen maailmansodan aikana v. 1917 sen tuotanto oli n. 3 500 tonnia. Myöhemmin 30-luvulla tuotanto oli jo melkein kymmenkertainen. Mainittakoon, että Taalintehtaan puuhiilimasuunin käyttö lopetettiin v. 1928. On syytä muistaa myös vanha Wärtsilä, joka kehittyi myös voimakkaasti. Wärtsilässä luovuttiin v. 1920 vanhasta masuunista ja siirryttiin sähköuunin käyttöön. Fiskars on myös niitä vanhoja rautatehtaita, joka jatkoi jo 1600-luvulla alkanutta toimintaansa ja kehitti ja monipuolisti tuotantoaan sekä laajeni yritysostojen kautta. Tällä tavoin Inhan martin- ja valssilaitokset liitettiin yhtiöön v. 1917.

Ennen kuin siirrymme ajassa eteenpäin 30-luvulle, haluaisin mainita vielä erään merkittävän malmilöydön. Se on nikkelimalmiaiheden löytäminen Petsamosta Kamikivinturin liepeiltä v. 1923.

Varsinainen nousu ja todella hämmästyttävä nousu ta-

pahtui 30-luvulla ja 40-luvulle mentäessä. Tänä aikana Outokummun malmin louhinta nousee 100 000 tonnista 500 000 tonniin, rakennetaan sähkösulatukseen perustuva Imatran kuparitehdas (valmistui v. 1935) ja kupari-elektrolyysi- ja metallitehtaat Poriin (vv. 1940—42). Vuoksenniska laajentaa ferroseostuotantoon ja tulee huomattavaksi piiraudan tuottajaksi, erääksi Euroopan suurimmista sekä aloittaa uusien seosten kuten ferrovolfraamin, ferromolybdeenin, jopa ferrokromin valmistuksen. Tärkein vaihe Vuoksenniskan kehityksessä on kuitenkin Imatran Rautatehtaan rakentaminen ja siihen liittyvä kobolttin tuotanto. Outokummun rikkikiisusta saatujen pasutusjätteiden käsittely ja kobolttin tuotanto alkoi v. 1936, sähkötakkiraudan valmistus v. 1937 alkupuolella ja saman vuoden loppupuolella alkoi toimintansa sähköteräsosasto ja valssilaitos.

Petsamossa timanttikairaukset toivat esille merkittävän nikkelimalmiesiintymän. Kun kaivoskonsessio oli myyty International Nickel Co:lle, rakennettiin 30-luvun lopulla ja 40-luvun alussa Kaulatunturin kaivos, Jäniskosken voimalaitos ja suuri sähkösulatto Kolosjoelle, joka viimein valmistui v. 1942 lopulla. Petsamon nikkelimalmia koskeva konsessio siis myytiin INCO:lle. Vaikka Eero Mäkiselä ja Berndt Grönblomilta ei puuttunut rohkeutta, kuten sen ajan toiminnasta näkyy, Petsamon malmin hyväksikäyttöön ei siis silloin uskallettu omin voimin ryhtyä. Syyt ovat varsin ilmeiset: meillä ei ollut alan insinööriä ja kaiken lisäksi puuttui pääomia. Näin siis samaan aikaan kun Imatran kuparitehdasta suunniteltiin, Eero Mäkinen yhdessä V. M. J. Viljajsen kanssa kävi kauppaamassa Petsamon malmin ja he löysivät Englannista ostajan, Mond Nickel Co:n (INCO:n tytäryhtiö). On ilmeistä, että tilanne nyt olisi toinen. Jos nyt päästäisiin samanlaiseen malmiin käsiksi, niin oltaisiin valmiit menemään vaikka ulkomaille.

Mihin sitten perustui tämän rajun ekspansion toteutuminen 30-luvulla? Siihen on montakin syytä. Alkakaamme Outokummusta. Outokummun tilanne oli selkiytynyt jo 20-luvun loppupuolella ja kaivosta ja rikastamo oli lähdeytetty kehittämään. Tärkeintä kuitenkin oli, että Outokummun kaivoksesta muodostettiin oma yhtiö v. 1932 ja myös, että Mäkiselästä tuli sen toimitusjohtaja. Tällöin vasta syntyivät Mäkiselälle mahdollisuudet ryhtyä toteuttamaan niitä ajatuksia, mitä hänellä oli Outokummun kaivoksen ja sen varaan perustuvan kupariteollisuuden kehittämisestä. Kun Outokummun vaahdotusrikastamon tuottamalle rikkikiisulle saatiin käyttäjiä selluloosateollisuuden piirissä, syntyi eneneviä määriä kobolttipitoisia pasutusjätteitä. Tämä antoi taas Vuoksenniskalle aiheen merkittävään tutkimus- ja kokeilutyöhön, josta tuloksesta syntyi Imatran Rautatehdas. Näin toteutui Berndt Grönblomin kuningasajatus: oman kotimaisiin raaka-aineisiin perustuvan rauta- ja terästeollisuuden luominen.

Imatran ja sen jälkeen useiden muiden vesivoimalaitosten rakentaminen loi edellytykset sähkömetallurgisten menetelmien käyttöönotolle, joka puolestaan auttoi rautatehtaiden tekemisessä, kun suunniteltiin malmien ja rikasteiden jalostusta metalleiksi. Samalla kyllä jouduttiin tekemään merkittävää pioneerityötä nimenomaan sähkömetallurgian alalla. Imatran sähköuuni oli toinen sulfidirikasteiden sulatukseen rakennettu uuni. Sen edeltäjä oli Sulitjelman 2,7 MW:n uuni. Imatran uunin teho oli 9 MVA ja siten se edusti huomattavaa mittakaavaa suurennusta ja oli aikanaan maailman suurin. Imatran sähkösulatuksesta saatujen hyvien kokemusten perusteella päätti INCO rakentaa Petsamoon 2 kpl 12 MVA:n uunia, jotka vuorostaan olivat maailman suu-

rimmat. Petsamon uunit olivat taas esikuvana Bolideinin sähköuunille, joka rakennettiin Rönnskäriin sodan jälkeen samoin kuin INCO:n Thompsonin sulatolle. Imatran Rautatehtaan Tyslan-Hole takkirautauuni, teholtaan 12 MVA, oli aikanaan myös maailman suurin. Tällä tavoin Suomi aikanaan oli, kuten mainitsin, edelläkävijä sähkömetallurgisten menetelmien käyttäjänä. Vanhan metallurgin sydäntä lämmittää kun ajattelee näitä entisiä hyviä aikoja. Silloin tosiaan sähkövoimayhtiö oli valmis tekemään pitkäaikaisia, käyttäjälle edullisia sopimuksia, ja sähköveroakaan ei ollut vielä keksitty.

Sitten jouduttiin sotaan. Sota-aika tietysti aiheutti monenlaisia häiriöitä ja esteitä, mutta se ei merkinnyt kuitenkaan kehityksen pysähtymistä, vaan ehkä jopa kiihdytti sitä. Mainitsin jo, että Porin tehtaot osittain rakennettiin ja käynnistettiin sota-aikana samoin kuin Petsamon nikkeliutuotanto. Uusia kaivoksia avattiin: Nivalan nikkelikaivos, Ylöjärven kupari-volframikaivos ja Mätäsvaara pantiin uudelleen käyntiin. Jopa järvimalmiaan nostettiin.

Sodanaikaisiin tapahtumiin kuuluu oikeastaan kuparitehtaan siirtäminen Harjavaltaan, jonne rakennetaan uusi sulatto suuremmalle tuotannolle. Pian sodan jälkeen tapahtumaksi voidaan kirjata merkittävä kehitystyön tulos: kupariliikkisulatuksen alkaminen Harjavallassa v. 1949. Tätä voidaan pitää metallurgisen teollisuutemme merkkitapahtumana, kun otetaan huomioon liekkisulatusmenetelmän saavuttama asema maailmalla.

Varsinainen uusi vuoriteollisuuden nousu- ja kehityskausi tapahtui 50- ja 60-luvulla. Uusia kaivoksia syntyy: Outokummun toimesta alkavat toimintansa Aijala, Vihti, Kotalahti, Korsnäs, Pyhäsalmi, Vuonos, Hammassahti ja Virtasalmi. Näiden sulfidimalmikaivosten lisäksi on kirjattava merkittävä uusi alue, nimittäin Kemian kromiittikaivos. Rakennetaan myös Otanmäen kaivos tuottamaan rautamalmia, vanadiinia ja ilmeniittä. Pohjoiseen syntyy Rautuvaara ja Mustavaara. Etelässä alkaa vanha Jussarö tuottaa rautamalmia. Luikonlahden kuparikaivos kuuluu myös tähän joukkoon. Ja myöhempi tulokas on Siilinjärven apatiittikaivos — tosin 70-luvulla.

Tällainen voimakas ja monipuolistunut kaivostoiminnan kasvu antoi myös mahdollisuuden uusien metallurgisten tuotantolaitosten perustamiseen. Syntyi Koverharin masuuni ja terästehdas sekä Rautaruukin masuuni ja terästehdas Raaheen. Outokumpu osaltaan rakensi Harjavaltaan oman nikkelituotannon, mikä käsittää nikkelisulatuksen ja elektroyttinikkelin valmistuksen. Pyhäsalmen myötä tuli ensin pyriittisulatus ja elementtirikin valmistus Kokkolaan. Seuraavina tulivat kobolttitehdas ja sinkkitehdas edelleen Kokkolaan ja ferrokromisulatto Tornioon, jonne myöhemmin 70-luvulla myös rakennettiin ruostumattoman teräksen tuotantolaitokset. Samoihin aikoihin kehittyivät edelleen Imatran tehtaot sekä Fiskarsin ja Taalintehtaan terästehtaat. Tässä yhteydessä ei ole myöskään syytä unohtaa Paraisten, Lohjan ja Ruskealan Marmorin toimesta tapahtunutta huomattavaa laajentumista.

Tätä sodan jälkeen tapahtunutta kehitysjaksoa nimittäisin Suomen vuoriteollisuuden toiseksi ekspansiovaiheeksi. Näkyviä tekijänimiä on enemmän kuin ennen. Näistä erikoisesti mainittakoon Petri Bryk, John Ryselin, Fjalar Holmberg, Kauko Järvinen, Helge Haavisto ja monet muut. Jos nyt vuorostaan ryhdymme pohtimaan, mihin perustuu tämä vuoriteollisuutemme toinen ekspansiovaihe, joka kansainvälisestäkin ottaen on varsin mittava sekä kokoonsa että myös laatuunsa nähden.

Ehkä ensimmäisenä on mainittava sodan jälkeen val-

linnut voimakas henki rakentaa uutta teollisuutta maamme. Toiseksi on varmasti ansionsa myös niillä henkilöillä, jotka yhtiöitten johdossa toimivat. Tämän lisäksi tällaisen laajan ja monipuolisen kehitystyön teki mahdolliseksi myös se, että nyt oli käytettävissä jo alalle koulutettua insinöörikuntaa. Kiitos sen, että toiset olivat ensin käyneet oppia saamassa Amerikassa ja Ruotsissa ja ennen kaikkea, että oma vuoriteknillinen opetus oli saatu aikaan ja mainiot professorit Järvinen, Hukki, Tikkanen, Miekkoja, Sulonen ja Mikkola jakoivat oppia tuleville vuorimiehille.

Mistä sitten syntyivät edellytykset uusien kaivosten avaamiseen. Niitähän käynnistyi melkein joka vuosi tai joka toinen vuosi. On todella hämmästyttävää, että 50- ja 60-luvulla löytyi näin paljon malmeja. Tai onko se hämmästyttävää, että 70-luvulla näitä ei enää paljon löydykään. Tämä on ollut monen keskustelun aihe ja siitä puhutaan edelleenkin. Yhtenä selityksenä on ilman muuta se, että mineraaliesiintymiin kohdistuvat suuremmat vaatimukset kuin ennen, jotta niitä voitaisiin kutsua taloudelliseksi malmeiksi ja hyödyntäminen olisi mahdollista. Rautamalmien kohdalla se johtuu muuttuneesta kilpailutilanteesta. Kuparin suhteen on todettava, että sen reaalihintana on yli 2 kertaa huonompi kuin 15 vuotta sitten. Voidaankin kysyä, miten on louhintateknikan kehityksen laita. Onko se pystynyt vastaamaan haasteeseen eli alentamaan kustannuksia. Näin ei ehkä ole käynyt.

Joka tapauksessa tänään meillä on toiminnassa monipuolinen, nykyaikainen kaivos- ja metallurginen teollisuus, jonka teknillinen taso on korkea.

Mikä sitten on tämän monipuolistuneen vuoriteollisuuden merkitys?

Ensinnäkin se antaa luotettavan raaka-ainepohjan meidän metalleja käyttävälle teollisuudellemme. Tämä on seikka, jota jokainen maa pitää tärkeänä, ja uskon, että meilläkin se tunnustetaan.

Tämän lisäksi maasta kaivetut malmit tukevat muuta teollisuutta. Mainittakoon, että jo ensimmäisen maailmansodan aikana selluloosatehtaat pasuttivat Outokummun malmia ja 30-luvulta alkaen enenevässä määrin oli Outokummun rikkikiisu sekä Imatran kuparitehtaan tuottama nestemäinen rikkidioksidi rikkiraaka-aineena sulfiittiselluloosan valmistuksessa varmistamaan siten myös sota-aikaisen tuotannon. Maamme raskas kemianteollisuus eli rikkihappo- ja lannoitetuotanto perustui jo alusta alkaen v. 1920 Outokummun malmin ja myöhemmin rikki- ja kuparikiisun pasutukseen Lappeenrannassa ja osittain myös Kokkolassa. Sen jälkeen Harjavallan ja Kokkolan tehtaiden sulatto- ja pasutuskaasut antoivat pohjan tuotannon huomattavalle laajentamiselle. Lisääntynyt rikkidioksidi-kaasutuotanto antoi myös aiheen perustaa Kokkolaan natriumsulfaatin, suolahapon ja kalsiumkloridin tuotannon. Hyvänä esimerkkinä voidaan vielä mainita Vuorikemian synty. Kun Kotalahden kaivos oli päätetty rakentaa ja myös oli päätetty sulattaa nikkelirikaste Harjavallassa, syntyi pulma siitä, mihin voitaisiin käyttää lisääntyneestä rikkidioksidimäärästä saatava rikkihappo. Monien pohdiskelujen jälkeen päädyttiin titaanidioksidipigmentin valmistukseen, koska Otanmäki jo tuotti ilmeniittä ja pigmentin valmistus vaati huomattavia määriä rikkihappoa. Näin sai Vuorikemia alkunsa. Kemiran alumiinisulfaatin valmistus on saanut myös alkunsa samanlaisista argumenteista. Vastaavanlaisiin esimerkkeihin kuuluu myös Tornion terästehtaan synty, josta jo mainitsin. Outokumpu oli ensin rakentanut omilta kaivoksilta saatavaan nikkeliraaka-aineeseen perustuvan nikkelituotannon samoin kuin myöhemmin Kemian malmin varaan oman ferrokromitehtaan. Näin oli

varsin luonnollista, että syntyi myös oma ruostumattoman teräksen tuotanto. Voidaan myös hyvin sanoa, että ilman Kotalahden nikkeli-kaivosta ja Kemin kromiitti-kaivosta tuskin olisi syntynyt Tornion terästedasta.

Halusin näillä esimerkeillä osoittaa, että kaivosten merkitys ei ole nähtävissä yksinomaan siinä, että ne antavat raaka-ainepohjan perusmetallien tuotannolle, vaan ne usein luovat edellytyksiä monenlaiselle muulle teollisuudelle. Tällä tavoin yksittäisen kaivoksen merkitys on paljon suurempi kuin tarkasteltaessa sitä erillisenä taloudellisena hankkeena.

Vuoriteollisuuden kehittyminen on saanut aikaan maassamme myös teollisuutta, joka rakentaa laitteita kaivoksia ja tehtaita varten. Ilman omaa vuoriteollisuutta ei olisi syntynyt Tamrock'in, Roxonin, Laroxin, Aran, Kometan, Rauma-Repolan ja Outokummun ym. kaivosten ja rikastamojen tarpeisiin suuntautuvaa laitetuotantoa, joka ulkomailta esiintyy yhdessä nimellä Finnminers.

Suomen kaivos- ja metallurginen teollisuus on pystynyt luomaan myös uutta teknillistä osaamista samalla kun menestyksellä on sovellettu saatavissa olevaa uusinta teknologiaa. Tämä taas on luonut pohjan "know-how'n" viennille johtaen jopa huomattaviin laitostoimintuksiin. Tässä Suomen vuoriteollisuus on ollut esimerkkinä myös meidän muulle teollisuudellemme.

Olen näin halunnut painottaa nykyisen vuoriteollisuutemme merkitystä korostaen erikoisesti alkuperäisten raaka-aineita tuottavien laitosten — nimittäin kaivosten — ensiarvoista osuutta. Näin siis on ollut; entä tulevaisuus? Seuraako suurta nousuaaltoja laskuvaihe? Rautamalmikaivoksemme eivät koskaan ole olleet erikoisen vahvoilla, johtuen siitä että meillä ei ole ollut niin rikkaita ja suuria malmeja kuin esim. Ruotsissa. Toiseksi tilanne on yleismaailmallisesti muuttunut, koska Brasilia ja Australia ja eräät muut maat tuottavat hyvin halvalla kustannuksilla korkealuokkaista malmeja. Tällä tavoin Jussarö putosi ensin pois riveistä, muitten rautakaivosten tulevaisuus on epävarma. Monien ei-rautametal- leja tuottavien nyt toiminnassa olevien kaivosten ehtyminen on näkyvässä ja tämä tietää oman raaka-ainepohjan vähentymistä — ainakin tilapäisesti. Nämä kiistämättömät tosiseikat voivat johtaa kovin pessimistisen kuvan syntymiseen. Mielestäni pitimmällä tähtäyksellä ajatellen ei ole syytä menettää uskoa kaivosteollisuutemme tulevaisuuteen. Käynnissä oleva tehokas malminetsintä tuottaa varmasti tuloksia, joten uskon, että kuparia, nikkeliä ja sinkkiä tullaan edelleenkin louhimaan maaperästämme. Tämän lisäksi tullaan ottamaan hyödyntämisen kohteeksi sellaisia metalli- ja muita mineraaliesiintymiä, jotka tänään eivät kuulu tuotanto-ohjelmaan ja jotka mahdollisesti vaativat aivan uusia teknillisiä ratkaisuja — ajatellen esim. Sotkamon mustaliusketta. Näkisin hyvin selvänä sen, että kaivosteollisuus on myös tulevaisuuden ala maassamme. Kaivos- ja rikastusinsinööritarvetta ajatellen on otettava huomioon myös lisääntyvä tarve ulkomaisissa kohteissa. Näin ollen tämän alan opetus korkeakouluissa on edelleen yhtä tärkeää kuin ennen ja ala tarvitsee uusia päteviä insinöörivoimia. Ne keskustelut, joita on käyty malmien ehtymisestä eivät näin ollen saisi johtaa missään tapauksessa sellaisen käsityksen syntymiseen, että kaivos- ja ri-

kastusinsinöörien tarve olisi myös vähenemässä. Olisin halukas ennustamaan, että tulevaisuus tulee osoittamaan lisääntyvää tarvetta.

Vuoriteollisuutemme on ollut kasvava ja tärkeä teollisuuden ala. Vuoriteollisuudella on myös varma tulevaisuus.

SUMMARY

THE DEVELOPMENT AND SIGNIFICANCE OF THE FINNISH MINING INDUSTRY IN THE 20TH CENTURY

At the beginning of this century the mining and metallurgical industry in Finland operated on a very modest scale. The discovery of an ore deposit in Outokumpu in 1910 started a new period of development. However, real growth in the mining and metallurgical industry took place in the 1930s. Operations at the Outokumpu Mine begun with an annual extraction rate of about 100 000 tonnes. By the end of the decade the annual extraction rate had increased to 500 000 tonnes (Cu-content of ore being 3.5 — 4 %). In 1935 Outokumpu Oy built an electric copper smelter in Imatra and in 1940—42 an electric refinery, a rolling mill and an extrusion works in Pori. Since the early 1930s Oy Vuoksenniska Ab has been an important producer of ferro alloys and the company built an electro pig-iron furnace, steel works and rolling mills in Imatra in 1936—38. Petsamon Nikkeli Oy (Mond Nickel Co) constructed a nickel mine and a large electric smelter in Petsamo. In this way Finland had become an important pioneer in the field of electrometallurgy.

Another important stage of expansion in the mining and metallurgical industry occurred in the 1950s and 60s. Outokumpu Oy started flash smelting of copper in Harjavalta and thus created a new technological process that is now used all over the world. Outokumpu Oy began to operate a nickel mine and to produce electrolytic nickel.

In addition to this, many new mines were opened, production plants for new metals, like cobalt, zinc and ferrochrome were constructed and finally in the 1970s the production of stainless steel was started. Rautaruukki Oy was established and the construction of its iron and steel works as well as the blast furnace and steel works of Koverhar were completed. Production of vanadium and titanium pigment was centered around the Otanmäki Mine. This development, which on a European scale has been remarkable, was made possible by the discovery of ores and by their exploitation in Finland. The mining has also provided a good starting-point for Finland's now substantial heavy chemical industry.

Malmiesiintymien löytymiseen vaikuttaneista tekijöistä

Fil.kand. Mikko Tontti, dipl.ins. Esko Koistinen, dipl.ins. Matti K. A. Lehtonen, Geologinen tutkimuslaitos, Otaniemi

Lyhennelmä esitelmästä Vuorimiespäivillä 26.3.1982

JOHDANTO

Aihetta valotetaan ensiksi Suomen osalta ja sitten kuvataan eräiden kanadalaisten ja australialaisten malmiesiintymien löytymiseen vaikuttaneita tekijöitä. Mitä Suomeen tulee asiaa ei käsitellä ahtaasti geologisesti, vaan pyritään tarkastelemaan kaikkia mahdollisia löytöön liittyneitä tekijöitä, olivatpa ne laadultaan millaisia tahansa. Muiden maiden osalta tällainen käsittely ei ole käytännössä mahdollista. Tiedot on kerätty julkaistusta kirjallisuudesta /1—35/ sekä Geologisen tutkimuslaitoksen malmitiedostosta /36/. Julkaisematonta materiaalia ei ole käytetty, mutta sen sijaan on haastateltu eräitä asiantuntijageologeja. Lopuksi tarkastellaan kairausaiheiden vaikutusta malmiesiintymän löytymiseen.

YLEISTÄ

Malmin löytymiseen johtaneet tekijät muodostavat useinkin hyvin kiistanalaisen kysymyksen. Monenlaisia tulkintoja voidaan tehdä aina riippuen tulkinnan tekijän omista muistikuvista ja mielipiteistä. Malmeille ilmaantuu helposti useita "isiä", mikä onkin hyvin ymmärrettävää. Suomea koskeva taulukko 1 ei pyri olemaan aukoton totuus, mutta kehityssuuntaukset löytymiseen johtaneista tekijöistä varmaankin näkyvät.

Aluksi lienee kuitenkin mielenkiintoista tarkastella, mitä on kirjoitettu vuosisatamme alussa.

"Missä määrin geologisen kartoituksen avulla onnistutaan löytämään uusia malmien tai muiden hyödyllisten mineraalien esiintymiä, sen osoittaa tulevaisuus. Varmuudella käy jo tähänastisista tutkimuksista selville, että Suomi on harvinaisen malmiköyhä maa, millä ei kuitenkaan ole sanottu, ettei poikkeustapauksissa saattaisi löytyä arvokkaita esiintymiä." Näin kirjoitti Eskolan /37/ mukaan J. J. Sederholm vuonna 1901 artikkelissa, jota emme kuitenkaan onnistuneet löytämään.

"Outokummun löytö osoitti... että Suomesta saattoi löytyä ... arvokkaita esiintymiä ... Nousee ... kysymys, miten entiset ... ponnistukset olivat olleet niin tuloksettomia ... varmaan on ollut tärkeimpänä syynä ... että malminetsintöihin ryhdyttiin ennen kuin maan vuoriperän rakenne pääpiirteiltäänkin tunnettiin ... Toiseksi ovat ... luonnonolosuhteisiimme sovelletut malminetsintämenetelmät ... kehittyneet, kun niihin on sovellettu sekä geologian että tekniikan saavutuksia ... Useat malmit ... ovat helposti rapautuvia ... ja ... kallion pinta niiden kohdalla on kulunut notkolle, jotka taas ovat täytyneet maalla. Niinpä ... malmit ovat omansa piilottau-

tumaan ... useammin kuin muu kallio ... Nyt tiedetään ... että sora ja irtokivet on mannerjää ... kuljettanut nykyisille tiloilleen, ja ... jään muinainen liikuntosuunta on ... selvitetty ... Näin ollen etsitään malmeja ... irtokivistä, ja kun löydetään malmilohkare ... suunnataan etsintä ... suuntaan, mistä ... jää on muinoin liikkunut ... Lisäksi tutkitaan seutua magnetometrisesti ... Myöskin sähköön perustuvia etsintätapoja käytetään ... kun malmin piilopaikasta ollaan jotenkin varmoja, käydään sen kimppuun timanttioran avulla." Tämä pitkä lainaus oli Pentti Eskolan tekstiä /37/, julkaisusta "Suomen vuorityöstä ja sen edellytyksistä". Siinä tuli luetelluksi monia malmien löytymiseen vaikuttaneita tekijöitä.

Ensimmäinen argumentti, eli kallioperämme rakennetta ei tunneta, on seikka, johon kuulee vedottavan vielä tänäkin päivänä. Tuntuu kuin Eskolan /37/ esittämä optimistinen käsitys, että "Nyt ... on etsinnän pohjaksi kelpaavia geologisia karttoja ... melkein koko maasta" ei olisi vielä täysin toteutunut. Tuskin asiat näin huonosti ovat, mutta vaatimustaso on noussut. Kallioperämme rakenteen pääpiirteet tunnetaan, mutta se ei enää riitä. Malminetsinnällisesti mielenkiintoisimmat alueet on tunnettava sangen yksityiskohtaisesti, jotta voitaisiin seurata malminmuodostukselle otollisia rakenteita ja kivilajiseurueita.

Eskola esittää myös varsin modernin käsityksen lohokare-etsinnän ja geofysiikan merkityksestä. Näillä menetelmillä oli sittemmin ratkaiseva merkitys uusien malmiesiintymien paikannettaessa.

KEHITYS SUOMESSA

Taulukkoon 1 on koottu tietoja Suomen nykyisten rajojen sisällä toimivien tai toimineiden metallimalmikaivosten löytymiseen johtaneista tekijöistä.

Kansannäytetoiminnan ja etenkin geofysiikan osuus korostuu huomiota herättävän selvästi. Geologisten päätelmien ja varsinkin geokemian osuus on vaatimaton, mutta toisaalta geokemiaa on systemaattisesti harjoitettu maassamme vasta kymmenkunta vuotta.

Yhteenvetona voidaan todeta, että 34 kaivoksesta 18 löytymiseen on, tietysti vähän tulkinnasta riippuen, merkittävän syyksen antanut kansannäyte. Etsintöjen alkuunpanevana tekijänä on, taaskin tulkinnasta riippuen, ollut 8—9 tapauksessa erilaiset kaivuu- tai raivaustyöt.

Taulukko 1. Suomen metallimalmiesiintymien löytömenetelmät 1757—1980 /1—35/.

Table 1. Compilation of discovery technology of Finnish metallic ore deposits 1757—1980 /1—35/.

Löytö- vuosi Year of discovery	Kansannäyte		Prospektaus Prospecting	Geol. päätel. Geology	Geofysiikka Geophysics	Geokemia Geochem.	Huomautuksia Comments
	Lohkare Layman's Boulder	Kallio Sample Bedrock					
1757 Orijärvi 1834 Jussarö 1902 Mätäsvaara 1910 *Outokumpu 1935 Haveri 1937 *Makola 1937 Kärvasvaara 1938 Otanmäki 1938 *Paroinen 1944 Luikonlahti	x		x x xM x x xM x x x				Lerharu 1817 Kanavan kaivu Ansonmäki 1726 Koeojia 1921
1945 Aijala 1946 Metsämonttu 1947 *Vihanti 1951 *Kitula 1954 *Kotalahti 1955 *Korsnäs 1957 *Petolahti 1957 Rautuvaara 1958 *Pyhäsalmi 1958 *Paukkajanvaara	x				x x x x x x x x x		Kaivostoimintaa alueella 1600-luvulla Maantieleikkaus Puron perkaus Maantien varsi Kaivost. alueella 1600-luv. Kaivon kaivu
1958 Raajärvi 1959 *Kemi 1960 Leveäselkä 1961 *Telkkälä 1961 *Vammala 1962 *Kylmäkoski 1963 *Hitura 1964 *Kivimaa 1964 *Virtasalmi 1965 Vuonos 1967 *Mustavaara	x				x x x x x x x x x x		Kärvasvaara Kanavan kaivu Kärvasvaara Kellarin kaivu (Maantieleikkaus) Geofys. anom. tunn. 30-luv. Kaivostoimintaa Outokummussa
1968 Hammaslahti 1974 *Hannukainen 1980 Laukunkangas	x			x x			Kaivost. alueella 1600-luv.

E = Ei malmityyppiä
Not of the ore type

M = Maallikko
Layman

* = Tärkeä kansannäyte
Important layman's sample

Aikaisempi kaivostoiminta on ollut virikkeen antajana 8 tapauksessa. Voidaan sanoa, että noin 50 %:ssa tapauksista malmiesiintymien löytymiseen eniten vaikuttanut tekijä on laajasti käsitettynä ihmisen yleisen kulttuurin leviäminen. Toisaalta, onhan malminetsintä ammattilaisenkin suorittamana kulttuuritoimintaa, joten tässä mielessä kaikki esiintymät ovat löytyneet inhimillisen toiminnan leviämisen vuoksi. Lähes tasan 1/3 eli 11 esiintymää on puhtaasti alan asiantuntijoiden löytämiä, vaikka näistäkin osassa voidaan kansannäytetoiminnan tai vanhan kaivostoiminnan tulkita merkinneen jonkinlaista alkuunpanevaa sysäystä.

Varsinaisen malmin löytämisen on kuitenkin tehnyt vain 2—6 maallikkoa. Selvimmät tapaukset ovat Orijärvi ja Mätäsvaara, mutta mukaan voitaisiin lukea myös

Kitula, Kärvasvaara, Pyhäsalmi ja Telkkälä. Kaikki muut ovat ammattilaisten löytämiä, tai toisin sanoen, ilman asiantuntijoita noin 90 % malmiesiintymistämme olisi jäänyt löytymättä.

Yleistä kehityssuuntaa tarkasteltaessa havaitaan, että etenkin kansannäytetoiminnan osuus malmiesiintymien löytämisessä on vähenemässä ja tilalle on tulossa kaikkien geotieteilijöiden yhteistyö.

KEHITYS KANADASSA JA AUSTRALIASSA

Suuri osa Kanadaa muistuttaa geologisilta olosuhteiltaan varsin paljon Suomea. Niinpä myös malmiesiintymien löytymiseen johtaneita prosesseja voidaan mielekkäästi vertailla.

Taulukko 2. Kanadan malmiesiintymien löytömenetelmät 1965—1976 /38/.

Table 2. Compilation of discovery technology of Canadian ore deposits 1965—1976 /38/.

	Löytö- vuosi Year of discovery	Prospektaus Prospecting	Geologia Geology	Geofysiikka Geophysics	Geokemia Geochem.
Husky	1965				x
Anvil	"	x			
Agnew Lake	"		x		
Delbridge	"				x
Madeleine	1966		x		
Brenda	"		x		
Pyramid	"			x	
Jameland	"			x	
Hab	"	x			
Dufault-Millenbach	"		x		
Newmont-Ingerbelle	1967		x		
Utah's Island Copper	"	x			
Louvem	1968			x	
South Bay	"			x	
Valley Copper	"			x	
Rabbit Lake	"			x	
Sam Goosly	"				x (?)
Ruttan Lake	1969			x	
Mattabi	"			x	
Centennial	"			x	
Gibraltar	"	x			
Sturgeon Lake	1970			x	
Umex-Thierry	"			x	
Clufflake "D"	"			x	
Clufflake "NRF"	"			x	
Lyon Lake	1971			x	
J.A.	"		x (?)		
Cluff Lake (Claude Lake)	"			x	
Ming	"			x	
Afton	"		x		
Canada Tungsten	"		x		
Lessard	"			x	
Magusi River	1972			x	
Hebecourt Syndicate	"			x	
Howard Pass	"				x
Def/Minto	"				x
Creek Zone	"			x	
Cuvier	1973				x
Lemoine	"			x	
Crasset Lake	"	?	?	?	?
Grum	"			x	
Reed Lake	"			x	
West Arm	"			x	
New Inscó	"			x	
Corbett	1974		x		
Brouillon A-1	"			x	
Izok Lake	"			x	
Hood River	"	?	?	?	?
Amoco	"			x	
Brouillon B	1975			x	
Key Lake	"		x	x	
Goldstream	"	x			
Montcalm	1976			x	
X-25 Orebody Pine Point	"		x		
Key Lake-Deilmann	"		x	x	

Taulukossa 2 /38/ on esitetty Kanadan malmilöydöt vuosilta 1965—1976. Geofysiikan valta-asema on täälläkin selvä. Kansannäytetoimintaa Suomen tapaan Kanadassa tuskin on ollut, mutta jos taulukosta 1 jätetään sarake "Kansannäyte" pois, yhdennäköisyys taulukon 2 kanssa on ilmeinen. Voitaneen päätellä, että vaikka montakaan esiintymää ei suoranaisesti ole kansannäytteiden avulla löydetty, ne ovat nopeuttaneet esiintymien löytymistä.

Suuntaus näyttää olevan geologisten päätelmien ja geofysiikan yhteistyöhön. Yksittäistä malmialuetta (esim. Noranda, taulukko 3 /39/) tarkasteltaessa tehdään sama havainto. Huomattakoon, että vuodesta 1925 lähtien löydetty uudet esiintymät Norandan alueella ovat olleet syvämalmeja.

Australiassa /40/ etenkin kvartaarigeologiset ja ilmastolliset olosuhteet poikkeavat täysin Suomesta ja Kanadasta. Se havaitaan heti (taulukko 4) gossanin suuresta merkityksestä malmiesiintymien löytymisessä. Toisaalta täälläkin eri geotieteilijöiden välinen yhteistyö näyttää korostuvan mitä nuoremasta malmilöydöstä on kysymys. Huomiota herättää, että geokemia on Australian olosuhteissa ollut selvästi merkittävämmässä asemassa kuin Kanadassa tai Suomessa.

KAIRAUSTIHEYDEN VAIKUTUS MALMIESIINTYMÄN LÖYTYMISEEN

Shurygin /41/ on tutkinut muun muassa kairaustiheyden vaikutusta esiintymien löytymiseen. Kun tunnetaan kustannukset kairareikämetriä kohden, käytettävissä olevat määrärahat neliökilometriä kohden, etsittävän malmin tasoprojektion pituus ja leveys sekä tutkimusalueen kivilajien yleiset kulut ja kaateet, voidaan laskea todennäköisyys esiintymän löytymiseksi sekä kairausverkon optimaalinen pisteväli kohtisuoraan kulkua vastaan ja sen suunnassa. Lisäksi on oletettava, että alueella todella on ellipsoidin muotoinen, vaakaprojektioiltaan etsittävän kokoinen malmio, ja että mainittu ellipsin muotoinen vaakaprojektio sijoittuu kivilajien yleisen kulun ja kaateen asettamissa puitteissa satunnaisesti 0—n metrin syvyyteen. Syvyys n voi vaihdella esimerkiksi käytettävissä olevista määrärahoista riippuen.

Taulukossa 5 on laskettu muutamia esimerkkejä. Menetelmä on aivan liian kallis löytymistodennäköisyyteen nähden, vaikka Shurygin /41/ esittämässään matemaattisissa kaavoissa on pyrkinyt optimoimaan kairaukseen vaikuttavia tekijöitä. Havaitaan, että pelkästään kairamalla ei malmeja kannata etsiä. Mutta kun toisaalta yhä enenevässä määrin on siirryttävä syväalmien etsintään, voidaan joskus tulla tilanteeseen, jossa systemaattinen kairaus on otettava reaalisenä malminetsintävaihtoehtona.

Malmqvist /42/ ja Malmqvist et al. /43/ ovatkin tutkinut kairausten optimointia ja simulointia kohteenaan 18 x 5 x 1 km³ suuruinen osa Skellefte-alueesta. Parametreinä olivat malmioiden geometria ellipsoidisovelluksena, kokojakauma ja esiintymistiheys sekä lisäksi kairareikien tiheys ja geometria. Vielä oletettiin malmioiden olevan edellä mainitussa lohossa tasaisesti jakautuneina. Kirjoittajat myöntävät, että viimeinen oletus ei pidä paikkaansa, mutta toisaalta yksinkertaistuk-

Taulukko 3. Löytömenetelmät, Norandan (Quebec, Kanada) alueen vulkanogeeniset sulfidiesiintymät /39/.

Table 3. Compilation of discovery technology 1923—1974, volcanogenic sulphide deposits, Noranda district, Quebec /39/.

Löytövuosi Year of discovery	Prospektaus Prospecting	Geologia Geology					Geofysiikka Geophysics					Geokemia Geochemistry		
		Mineralisaatio Mineralization	Muuttumisvyöhyke Alteration	Litologia- Stratigrafia Lithology- Stratigraphy	Rakenne Structure	Muu Other	Lento-EM Aerial EM	Maanpinta-EM Ground EM	Maanpinta Mag Ground Mag.	I.P.	Painovoima Gravity	Elohopea Mercury	Syvyys (M) Depth of deposit from surface (M)	
Horne-Upper 'H'	1923	P	x			x								Pinta Surface
Amulet-Upper 'A'	1925	P	x	x										"
Amulet 'C'	1925	P	x	x										"
Old Waite	1925	P	x	x										"
Aldermac	1925	x	x	x								P		9
Amulet 'F'	1929		x	x	x									40
Horne-Lower 'H'*	1931		P		x	x								400
Amulet-Lower 'A'*	1938		x	P	x									210
Joliet	1940	x	P		x									8
Macdonald	1944	x	x		x							P		8
Quemont	1945				x									60
D'Eldona	1947	x	P		x	x								150
East Waite	1949				x									400
Mobrun	1956				x									9
Vauze	1957				P									8
Dufault-Norbec	1961				P									340
Delbridge	1965		x		x									90
Dufault-Millenbach	1966				P									700
Magusi River	1972				x									15
New Insko	1973				x									15
Dufault-Corbett	1974				P									700

P = Pääasiainen löytömenetelmä
Primary discovery method
X = Täydentävä menetelmä
Contributory method

* = Johdannaislöytö
Subsequent discovery

sia on pakko tehdä laskelmien liiallisen komplisoitumisen välttämiseksi. Valitettavasti myös kairauskustannukset puuttuvat muuttujien joukosta.

Tärkeimpänä johtopäätöksenä todettiin, että suuria (yli 4 Mt) syvämalmoita olisi 20 % kaikista havaituista syvämalmoista, mutta nämä suuret malmit sisältäisivät puolet tavatusta kokonaismalmimäärästä. Jos esimerkiksi suuria malmoita olisi 12 kappaletta, todennäköisyys näistä yhden löytymiseksi olisi 0,1, jos kairattaisiin tasavälein 40 reikää 750 metrin syvyyteen edellä mainittuun 18 x 5 x 1 km³:n lohkokoon. Todennäköisyys kasvaa hitaasti ja olisi 0,5 vasta, kun suuria malmoita olisi noin 70. Myös pääteltiin, että syväalmien etsintä olisi ulotettava 500—700 m:n syvyyteen.

YHTEENVETO

Sallittakoon lopuksi palata vielä Eskolaan /37/. Hän arvelee itä- ja pohjois-Suomen liuskealueilta olevan hyvät mahdollisuudet löytää kiisumalmeja. Myös hän toteaa,

että "magmaattisia, titaninpitaisia rautamalmeja ... saataisi hyvin odottaa löytyvän missä tahansa maastamme". Vielä hän ennustaa nikkelpitoiset gabrot ja kromiittimalmit serpentiniiteissä. Kaikki Eskolan ennustukset ovat toteutuneet. Kaivostoiminta on maassamme käynnissä tälläkin hetkellä tämän tyyppisten esiintymien parissa.

Eskola mainitsee lisäksi: "... ei ole mitään syytä, miksi malmeja olisi vähemmän kallion pinnassa kuin joitakin kymmeniä tai satoja metrejä sen alla". Tämä pätee edelleen, ja johtopäätös voisi olla se, että Suomen malmeista olisi nyt varovasti arvioiden noin puolet löydetty ja toinen puoli olisi pääosin sokeina malmeina vielä löytymättä. Miten ne sitten löydetäisiin? Vastausta mitenkään tarkemmin spesifioimatta voisi todeta, että sekä kansallisesti että kansainvälisesti tarkasteltuna kaikkien geotieteilijöiden yhteistyö ja erityisesti geologisten analogioiden hyväksikäyttö tuntuvat jatkossa yhä enemmän korostuvan malmien löytymiseen eniten vaikuttavina tekijöinä.

Taulukko 4. Australian malmiesiintymien löytömenetelmät 1955—1978 /40/.

Table 4. Compilation of discovery technology of Australian ore deposits 1955—1978 /40/.

Löytövuosi Year of discovery	Gossan	Prospektaus Prospecting	Geologia Geology	Geofysiikka Geophysics	Geokemia Geochem.
1955 McArthur	x	x			x
1957 Greenvale	x		x		
1962 Warrego				x	
1962 Kanmantoo				x	
1966 Beltana					x
1966 Kambalda	x	x			
1967 Scotia	x	x			
1967 Mt. Edwards	x			x	
1968 Nepean				x	
1968 Redross	x	x			
1968 Spargoville	x				x
1969 Lady Loretta					x
1969 Woodlawn	x				x
1969 Carr Boyd	x		x		
1969 Mt. Keith	x				
1969 Windarra	x	x			
1969 Wannaway	x		x		
1969 Beverley			x	x	
1970 Naberlek				x	
1970 Ranger				x	
1970 Koongarra				x	
1971 South Windarra				x	
1971 Perseverance	x		x		
1971 Forresteronia	x		x		
1971 Jabiluka				x	
1971 Maureen				x	
1972 Cattle Grid					x
1972 Golden Grove	x	x			
1972 Yeelirrie				x	
1974 Que River				x	x
1974 Teutonic Bore	x		x		
1974 Elura				x	x
1976 Roxby Downs			x	x	
1978 Wilga				x	x

Taulukko 5. Kairaustiheyden (kairaussyvyys 100 m) vaikutus esiintymän löytömenetelmän Shuryginin /41/ mukaan.

Table 5. The effect of drill hole density (drilling depth 100 m) on the probability of finding a deposit according to Shurygin /41/.

P	Kustannukset (ei muuttokustannuksia) Cost (remove cost excluded)	A m x B m Grid size	Reikiä (keskim. kpl) Nr of drill holes (average)
0,014	1 000 000	160 x 4800	33
0,075	5 000 000	70 x 2100	170
0,15	10 000 000	50 x 1500	333
0,50	34 000 000	27 x 816	1135
1,0	61 500 000	20 x 610	2050

SUMMARY

FACTORS CONTRIBUTING TO ORE DISCOVERIES

Factors contributing to ore discoveries in Finland, Canada and Australia are briefly discussed.

A discovery is a deposit of sufficient grade and tonnage to justify being brought to production under normal or average conditions and the date of discovery is that on which ore was first exposed (usually in a drill hole) of sufficient grade and size to lead to production. A somewhat misleading aspect of a tabulation of this kind is the wide variation in tonnage and value of discoveries. This disadvantage is, however, unavoidable without undertaking a very complex study involving weighting each discovery by its known or assumed production value.

To the end of the sixties the most important factors contributing to ore discoveries in Finland were laymen's samples of erratic ore boulders sent to professional prospectors. In most cases geophysical investigations followed which then lead to drillings. Later on the cooperation of all geoscientists seems to become more important.

In Canada geophysical methods played the most significant role in finding new discoveries up to the seventies. Later the increasing importance of geological reasoning together with geophysics and/or geochemistry is evident.

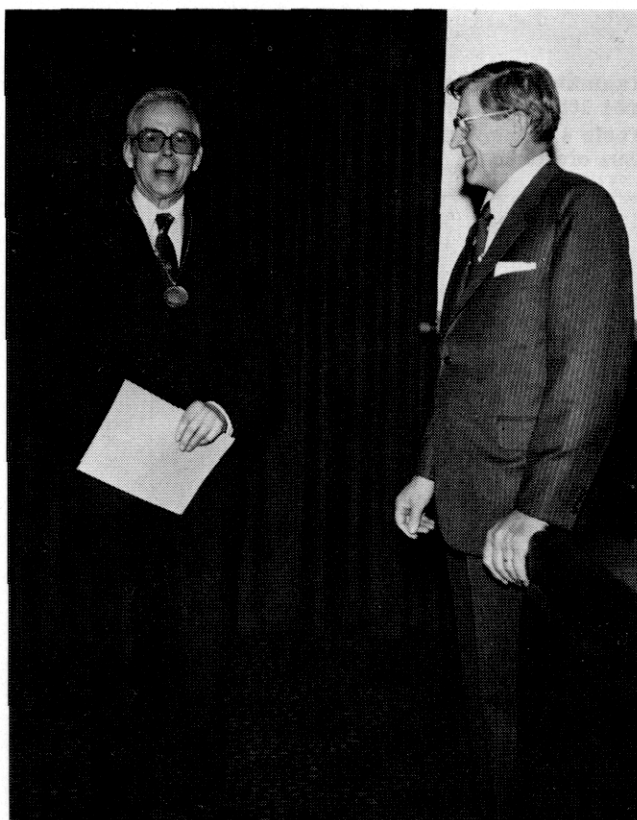
Australian deposits were mostly found with the help of geophysics and gossans. Geochemistry has been more important in Australia than in Finland or Canada.

When these three countries are examined together, it's justified to conclude that geophysics has been the most effective guide to new deposits. In later years the significance of geological reasoning accompanied by geophysics and/or geochemistry seems to be increasing.

KIRJALLISUUS—REFERENCES

1. Aurola, E. (toim.), The mines and quarries of Finland. Geol. tutkimusl. Geotekn. julk. 55 (1954). 123 s.
2. Isokangas, P., Finland. Sivut 39—92 teoks. Bowie, S.H.U., Kvalheim, A. & Haslam, H. W. (toim.), Mineral deposits of Europe, Vol. 1: Northwest Europe. Inst. Min. Metall., Miner. Soc., Dorking. (1978) 362 s.
3. Laine, E., Suomen vuoroitimi 1809—1884. III Harkkohytit, Kaivokset, Konepajat. Suomen historiallinen seura. Historiallisia tutkimuksia XXXI, 3. Helsinki (1952). 570 s.
4. Häkli, T. A. (toim.), Precambrian ores of Finland. 26th International Geological Congress Paris 1980. Guide to excursions 078 A+C, Part 2 (Finland). Geol. Surv. Finl. Espoo (1980). 48 s.
5. Nuutilainen, J., On the geology of the Misi iron ore province, northern Finland. Ann. Acad. Sci. Fenn., Ser. A III, 96 (1968). 98 s.
6. Papunen, H., Sulfide mineralogy of the Kotalahti and Hitura nickel-copper ores, Finland. Ann. Acad. Sci. Fenn. Ser. A III, 109 (1970). 74 s.
7. Warm, A., Outokumpu Oy:n Aijalan ja Metsämontun kaivosten vaiheita. Vuoriteollisuus-Bergshanteringen 33 (1975). 94—98.
8. Papunen, H., The Kylmäkoski nickel-copper deposit in southwestern Finland. Bull. Geol. Soc. Finl. 52 (1980) 1, 129—145.
9. Koskela, E., Kylmäkosken nikkeli-kuparikaivos. Outokummun sanomat (1972) 1, 14—17.
10. Papunen, H., Outokumpu Oy:n Kylmäkosken kaivoksen geologiasta. Vuoriteollisuus-Bergshanteringen 34 (1976). 119—123.
11. Warm, A., Lähteenoja, P. & Lukkarinen, T., Outokumpu Oy:n Kylmäkosken kaivos. Vuoriteollisuus-Bergshanteringen 31 (1973). 97—99.
12. Outokummun Sanomat, Kylmäkosken kaivos louhittu loppuun. (1974) 6, 21—22.
13. Häkli, T. A., Huhma, M., Viluksela, E. & Vuorelainen, Y., A minor Ni-Cu-deposit at Telkkälä, SE-Finland. Bull. Geol. Soc. Finl. 47 (1975). 55—70.
14. Outokummun Sanomat, Telkkälä. Puumala. (1970) 6, 16—17.
15. Outokummun Sanomat, Kuulumisia Vammalasta. (1980) 4, 10—11.

16. Kukkonen, M. (toim.), Ylöjärven kaivos 1943—1966. Vuoriteollisuus-Bergshanteringen 25 (1967). 28—38.
17. Stigzelius, H., Über die Erzgeologie des Viljakalagebietes im südwestlichen Finnland. Bull. Comm. géol. Finl. 134 (1944). 91 s.
18. Ollila, H. A., Haverin kaivoksen ja sen lähiympäristön geologiasta. Pro gradu, Helsingin yliopisto (1977). 51 s.
19. Mäkelä, K., Geochemistry and origin of Haveri and Kiipu, Proterozoic strata-bound volcanogenic gold-copper and zinc mineralizations from southwestern Finland. Geol. Surv. Finl. Bull. 310 (1980). 79 s.
20. Grundström, L., The Laukunkangas nickel-copper occurrence in southeastern Finland. Bull. Geol. Soc. Finl. 52 (1980) 1, 23—53.
21. Outokummun Sanomat, Outokumpu ulkomailla... kotimaassa. (1980) 5, 16—17.
22. Hyvärinen, L., On the geology of the copper ore field in the Virtasalmi area, eastern Finland. Bull. Comm. géol. Finl. 240 (1969). 82 s.
23. Hyvärinen, L., Kinnunen, K. & Mäkelä, M., The geochemistry, fluid inclusions, sulfur isotopes and origin of the Hammaslahti copper ore deposit, Finland. Geol. Surv. Finl. Bull. 293 (1977). 23 s.
24. Pelkonen, K., Alopaeus, E., Penttilä, S. & Korhonen, O., Outokumpu Oy:n Hammaslahden kaivos. Vuoriteollisuus-Bergshanteringen 31 (1973). 90—99.
25. Koskinen, J., Outokumpu Oy:n Kotalahden kaivos. Malmiesiintymän geologia. Vuoriteollisuus-Bergshanteringen 18 (1960). 36—38.
26. Himmi, R., Outokumpu Oy:n Korsnäsin ja Petolahden kaivosten vaiheita. Vuoriteollisuus-Bergshanteringen 33 (1975). 35—38.
27. Piirainen, T., Die Petrologie und die Uranlagertätten des Koli—Kaltimogebietes im finnischen Nordkarelien. Bull. Comm. géol. Finl. 237 (1968). 99 s.
28. Kranck, E. H., The molybdenum deposit at Mätäsvaara in Carelia (E. Finland). GFF 67 (1945) 3, 325—350.
29. Helovuori, O., Geology of the Pyhäsalme ore deposit, Finland. Econ. Geol. 74 (1979). 1084—1101.
30. Räisänen, K., Outokumpu Oy:n kromituotanto. Vuoriteollisuus-Bergshanteringen 29 (1971). 89—91.
31. Juopperi, A., The magnetite gabbro and related Mustavaara vanadium ore deposit in the Porttivaara layered intrusion, north-eastern Finland. Geol. Surv. Finl. Bull. 288 (1977). 68 s.
32. Rouhunkoski, P. & Isokangas, P., The copper-gold vein deposit of Kivimaa at Tervola, N-Finland. Bull. Geol. Soc. Finl. 46 (1974) 1, 29—35.
33. Outokummun Sanomat, Pienetkin malmiesiintymät käyttöön. (1969) 4, 20—21.
34. Westerlund, P., Otanmäki Oy, Raajärven kaivos, yleiskatsaus. Vuoriteollisuus-Bergshanteringen 22 (1964). 27—30.
35. Runolinna, U., Kärvasvaaran kaivos. Vuoriteollisuus-Bergshanteringen 17 (1959). 19—22.
36. Gaál, G., Autio, H., Lehtonen, M., Mäkinen, A., Oksama, M., Saltikoff, B., Tontti, M. & Vuorela, P., Pohjois-Suomen malmitedostoprojekti. Summary: Ore data file project for Northern Finland. Geol. tutkimusl., Tutkimusrap. 26 (1977). 79 s.
37. Eskola, P., Suomen vuorityöstä ja sen edellytyksistä. Suomen Geol. toimisto. Geotekn. tiedonantoja 22 (1919). 26 s.
38. Derry, D. R. & Booth, J. K. B., Mineral discoveries and exploration expenditure—a revised review 1965—1976. Min. Mag. (1978). 430—433.
39. Boldy, J., Exploration discoveries, Noranda District, Quebec. Geol. Surv. Can. Econ. Geol. Rep. 31 (1977). 593—603.
40. White, D. A., Mineral exploration philosophy in Australia. Bull. Aust. Soc. Explor. Geophys. 12 (1981) 1, 1—4.
41. Shurygin, A. M., The probability of finding deposits and some optimal search grids. J. Int. Assoc. Math. Geol., 8 (1976) 3, 323—330.
42. Malmqvist, K., Optimering och simulering av djupprospektering. En förstudie. STU-rapport 74—3995 (1975).
43. Malmqvist, K., Malmqvist, L. & Zweifel, H., Computer simulation of exploration for deep-seated orebodies in mining districts. Econ. Geol. 75 (1980). 927—935.



Kuva 1. Vas. Heikki Aulanko, Aimo Mikkola.

EERO MÄKINEN -MITALI

Vuorimiesyhdistyksen hallitus on kokouksessaan 20.1.1982 päättänyt myöntää Eero Mäkinen -mitalin tekn.lis. Heikki Aulangolle hänen ansiokkaasta toiminnastaan Vuorimiesyhdistyksen ja maamme vuoriteollisuuden hyväksi.

Heikki Aulanko valmistui dipl.insinööriksi Teknillisestä korkeakoulusta v. 1941. Toimittuaan eri yhtiöissä v. 1939—1951 vuori-insinöörin tehtävissä hän siirtyi v. 1951 Outokumpu Oy:n palvelukseen. Outokummun kaivoksella hän hoiti v. 1951—1964 käyttö- ja suunnitteluinsinöörin tehtäviä sekä toimi kaivososaston päällikkönä. Outokumpu Oy:n Malminetsintään hän siirtyi v. 1964 ja oli sen apulaisjohtaja v. 1976—1977. Heikki Aulangon työpanos on kohdistunut erityisesti uusien malmiesiintymien louhintasuunnitelmien ja niiden taloudellisten hyväksikäyttöselvitysten tekemiseen sekä syväkairausmenetelmien kehittämiseen. Tekniikan lisensiaatin tutkinnon hän suoritti v. 1971.

Heikki Aulanko on ollut Vuorimiesyhdistys — Bergsmannaföreningen'in jäsen v:sta 1944. Hän on suorittanut yhdistyksen hyväksi erittäin merkittävän työn toimimalla viimeisen kymmenen vuoden aikana rahastonhoitajana ja kehittämällä yhdistyksen julkaisutoimintaa. Tänä aikana, jolloin Heikki Aulangolla on ollut keskeinen asema yhdistyksen asioiden ja talouden hoidossa, on sen toiminta huomattavasti muuttunut ja monipuolistunut, mitä kuvaa jäsenmäärän kasvu kaksinkertaiseksi.

Heikki Aulanko tunnetaan myös vuoriteollisuusaiheisesta postimerkkikokoelmastaan.

Happikonvertteriprosessin kehitysnäkymiä

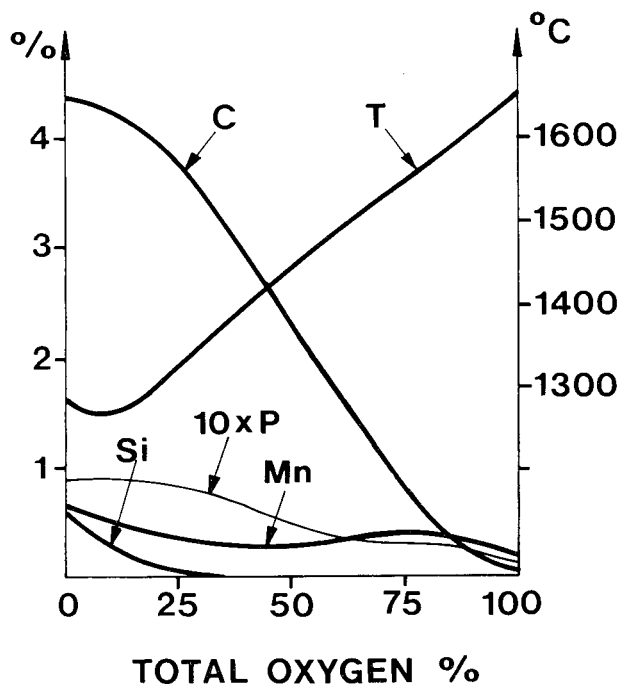
Tekn.tri Jorma Rekola, Rautaruukki Oy, Raahensalo

Esitelmä Vuorimiespäivillä 26. 3. 1982

Maailman raakaterästuotanto vuosina 1979, 1980 ja 1981 oli 748, 718 ja 707 milj. tonnia, mistä happikonvertteriprosessin osuus on yli puolet. Happikonvertteriprosessi on kehittynyt vallitsevaksi raakateräksen valmistusmenetelmäksi kahdessa vuosikymmenessä kapasiteetin ollessa 522 milj. tonnia v. 1980.

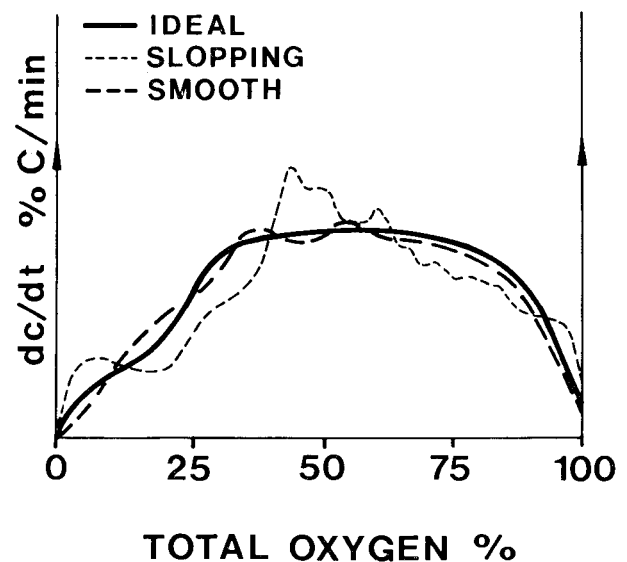
Teräksen valmistuskapasiteetista on ollut runsasta ylitarjontaa. Energiakustannusten nousu ja kehitysmaiden panostukset omaan raakaterästuotantoon ovat karsineet kannattamattomia prosesseja ja pakottaneet hengissäpysyjät kiivaaseen tuottavuuskehittelyyn.

Perinteisesti happikonvertteriprosessin päätarkoituksena on ollut raakaraudan mellottaminen raakateräkseksi (kuva 1). Reaktiionopeus on erittäin suuri kaasukuplien aikaansaamasta suuresta reaktiopinta-alasta johtuen. Kysymyksessä on eräänlainen leijupeti. Happivirtauksella 3 m³/t min puhallusjakson kesto on noin 15 minuuttia panoksen suuruudesta riippumatta. Hiilen palamisnopeutta latentoi puhalluksen alussa piin hapettuminen ja puhalluksen lopussa sekoituksen väheneminen (kuva 2).



Kuva 1. Hiilen, piin, mangaanin ja fosforin hapettuminen LD-puhalluksen aikana.

Fig. 1. Oxidation of elements during oxygen top blowing.



Kuva 2. Hiilen palamisnopeus puhalluksen aikana.

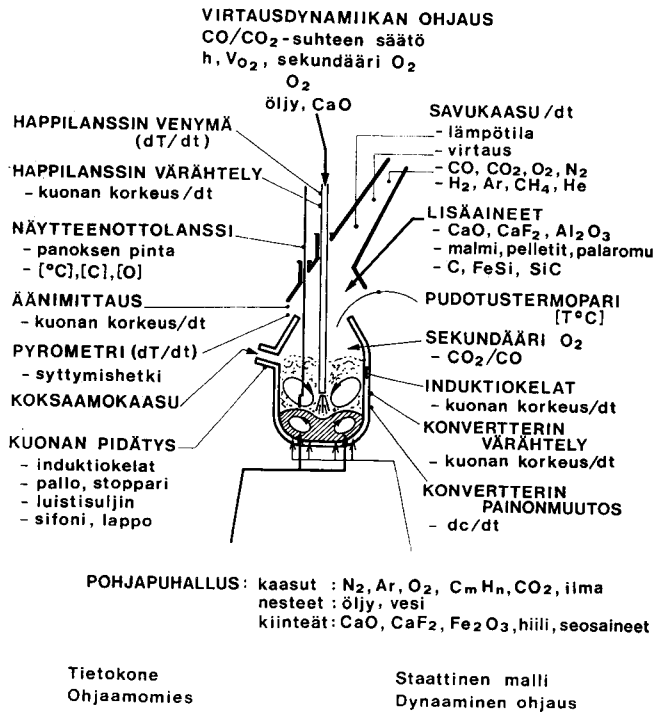
Fig. 2. Decarburization rate curves during blowing.

Kun kehitys on tuonut mukanaan suuria, yli 300 tonnin konverttereita, on myös korostuneesti tullut esiin prosessissa syntyvien gradienttien merkitys. Gradien-teilla on erityinen merkitys hiilen palamisnopeuteen ja siten prosessin tasaisuuteen, prosessista saatavan informaation luotettavuuteen ja edelleen prosessin hallittavuuteen.

Päältä puhallettavaan konvertteriin syntyy terminen, kemiallinen ja fysikaalinen gradientti, jotka kasvavat panoskoon mukana. Kehitys on nopeasti johtanut ns. yhdistelmäkonverttereihin, joissa sekoitus saadaan aikaan konvertterin pohjan läpi suoritettavalla puhalluksella. Koko happikonvertterin historiaa ajatellen tämä on näyttävä ja nopea muutosprosessi. Viime vuoden lopussa yhdistelmäkonverttereita oli jo yli 80.

PROSESSIN OHJAUS

Happikonvertteriprosessin ohjaus jaetaan usein staattiseen ja dynaamiseen ohjaukseen. Staattinen ohjaus käsittelee aine- ja lämpötaseet, joilla lasketaan, kuinka paljon raakaraudaa, romua ja kalkkia on panostettava ja kuinka paljon happea on puhallettava, jotta saavutetaan vaadittu lämpötila ja hiilipitoisuus puhalluksen päättyessä. Dynaaminen ohjaus huomioi puhallusjakson aikana prosessista saatavan informaation ja käyttää sitä hyväksien korjaten prosessia tavoitellun hiilipitoisuuden ja lämpötilan saavuttamiseksi.



HAPPIKONVERTTERIPROSESSIN OHJAUS

Kuva 3. Kokoelma happikonvertteriprosessin apulaitteita, dynaamisia mittaustapoja ja ohjausvälineitä.

Fig. 3. Collection of accessories, dynamic measuring and controlling methods in BOF.

On kehitetty lukuisia happiprosessin ohjaukseen liittyviä dynaamisia mittaustapoja ja ohjausvälineitä. Rautaruukilla on niistä tällä hetkellä käytössä

- virtausdynamiikan ohjaus lanssin korkeuden avulla; lanssin korkeudella säädetään välillisesti prosessin sekoitusta eli gradientteja ja kuonan hapetusastetta eli hapen jakautumista melloitus- ja kuonautumisreaktioiden välillä,
- savukaasun lämpötilan mittaaminen puhalluksen aikana melloitusnopeuden ja puhalluksen lopputilan arvioimiseksi,
- äänimittaus kuonan muodostuksen ja tilan tarkkailemiseksi
- lisäaineiden (kalkki, CaF₂, malmi) määrällinen ja ajallinen vaihtelumahdollisuus prosessin kuonan muodostuksen ja lämpötilan hallitsemiseksi.

Ohjaamomies saa mallin edellisistä puhalluksista raakaraudan analyysin ja lämpötilan tasoittuessa mikseissa.

Vakuuttavimpia tuloksia on saatu prosesseista, joissa dynaamiset mittaukset suoritetaan äänimittauksella /1/, massaspektrometrillä ja näytteenotto-sondilla (sublanssi) /2/. Japanissa, jossa prosessikehitys on edennyt voimakkaammin, on ohjausjärjestelmiä konkretisoitu antamalla niille nimiä. Nippon Steel Corporation on antanut ohjausjärjestelmälleen nimen LD-TOP (LD-Total Optimum Process Control). Järjestelmä sisältää staattisen mallin, jolla valvotaan raaka-aineita, vaakoja ja ohjauslaitteita. Dy-

naamisessa mallissa prosessia ohjataan savukaasun analyysin avulla, josta lasketaan ns. Os (Oxygen accumulated in slag) -arvo.

Hapen jakautumista melloitusreaktion ja kuonautumisreaktioiden välillä ohjataan lanssin korkeutta muuttamalla. Prosessin tila selvitetään näytteenottolanssin avulla mittaamalla prosessia keskeyttämättä sulan lämpötila ja teräksen jäähtymisen perusteella hiilipitoisuus. Mittaus suoritetaan mahdollisimman myöhäisessä prosessivaiheessa siten, että korjaustoimenpide ehditään juuri vielä suorittaa. Myöhäinen ajoitus antaa luotettavamman informaation ja osuu hiilipitoisuusalueelle, josta ennustettavuus on hyvä. Samalla otetaan näyte, josta saadaan koko analyysi samanaikaisesti kun puhallus päättyy. Puhalluksen päätyttyä voidaan osa laadusta kaataa välittömästi. Tällaisella ns. CQT (Controlled Quick Tapping) -menetelmällä sulatusjakson kesto voidaan lyhentää 4–6 minuuttia, alentaa energian käyttöä matalamman loppulämpötilan ansiosta sekä vähentää tulenkestävän materiaalin kulutusta konvertterissa. Mittauksen onnistuminen puhalluksen viimeisillä hetkillä ja loppupisteen ennustaminen sen avulla vaatii koko prosessiketjulta johdonmukaista toistettavuutta ja kurinalaisuutta.

Esimerkkinä mainittakoon, että kanadalaisen Dofascon terästehtaan 230 tonnin konvertterissa romun maksimikappalepaino on rajoitettu yhteen tonniin. Tämä johtuu siitä, että näytteenottohetkellä sulamatta oleva romu aiheuttaa huomattavan ennustettavuuden kuin se, mitä saataisiin ilman mittausta.

HAPPIKONVERTTERIPROSESSIT

Happikonvertteriprosessin kehittyminen on tuonut mukanaan runsaasti uusia nimityksiä, joita usein käytetään ilman selityksiä (taulukko 1).

YLHÄÄLTÄ PUHALLETTAVAT KONVERTTERIT

Raakateräksestä valmistetaan suurin osa edelleen LD-menetelmillä. Prosessista käytetään usein yleisnimityksiä BOF, BOP ja BOS. Ylhäältä puhallettavia happikonverttereita on Suomessa 5 kappaletta, 3 Raahessa ja 2 Koverharissa. Ylhäältä puhallettavaan prosessiin lukeutuvat myös korkeafosforiselle raakaraudalle suunnitellut LD-AC ja OLP-prosessit, joissa kalkki kuljetetaan prosessiin hienokalkkina happilanssin kautta. Viimeksi mainitut ovat nopeasti muuttumassa yhdistelmäkonverttereiksi.

SULAN ALAPUOLELTA PUHALLETTAVAT KONVERTTERIT

Hapen puhallaminen sulan sisään ratkaistiin ensimmäiseksi AOD-konvertterissa. Suuttimet muodostuvat sisäkäisistä samankeskeisistä putkista. Sisemmästä puhalletaan hapen ja argonin seosta ja ulommasta inerttiä kaasua (Ar, N₂). AOD-prosessi kehitettiin ruostumattomien terästen valmistukseen. Siinä inerttikaasu alentaa hiilimonoksidin osapainetta. Tämä on toinen tärkeä etu pohjapuhallukselle aikaisemmin mainitut sekoituksen lisäksi. Tällöin päästään mataliin hiili- ja happipitoisuuksiin teräksessä sekä estetään kromin hapettuminen. AOD-konverttereita on Suomessa kaksi, Torniossa ja Karhulassa.

Hiiliterästen massatuotanto pohjapuhalluksella alkoi OBM-prosessista, jossa hapen suojakaasuna toimii hiili-

vety. Pohjapuhalluskonvertterit kehitettiin ensisijaisesti Thomas-menetelmän korvaajiksi korkeafosforiselle raakaraudalle. Tästä syystä kalkin lisäys tapahtuu pääasiallisesti injektioimalla pohjan kautta. Pohjapuhalluskonvertterien kapasiteetti oli vuonna 1980 27 milj. t eli sama kuin Thomas-konvertterien kapasiteetti v. 1969.

Pohjapuhalluskonvertterin etuja ovat:

- Matalahiilisten terästen valmistusmahdollisuus: hiilipitoisuudessa päästään 0,01 %:iin C ja inerttikaasujälkihuhuhtelulla 0,006 %:iin C.
- Parempi teräksen saanti pienempien pölyhäviöiden ja kuonan matalamman hapetusasteen vuoksi.
- Parempi Mn-saanti.
- Hyvä fosforin poisto matalilla C-pitoisuuksilla.
- Reaktiotasapainojen saavuttaminen.
- Romun suuri sulatusnopeus, jolloin myös koko prosessia voidaan nopeuttaa.

- Savukaasujen korkea energiasisältö (Kawasaki Chiban energian talteenotto 1 GJ/t terästä).

Pohjapuhalluskonvertterin haittatekijöitä ovat:

- Huono kuonan hapetusasteen hallinta ja siten huono fosforin poisto muilla kuin matalahiilisillä teräksillä.
- Korkea vetypitoisuus käytettäessä suojakaasuna hiilivetyä.
- Voimakas pohjan kuluminen, jota voidaan vähentää uusilla kalliilla tiilimateriaaleilla.
- Kalliit pohjapuhalluksen säätöjärjestelmät erityisesti käytettäessä kuluttavia injektiomateriaaleja.
- Korkeat kaasukustannukset.
- Vähäisempi romunsulatuskyky.
- Konvertterin suuskollien aiheuttamat vaikeudet.

Erikoisuutena pohjapuhalluskonvertterien sarjaan on tulossa Klöcknerin suunnittelema KS-prosessi, joka on

Taulukko 1. Happikonvertteriprosessien ryhmittely puhallustavan perusteella
Table 1. BOF terminology. Classifying of processes

↓ päältä puhallus	↑ pohjasta puhallus	← sivusta puhallus	
Happikonvertteriterminologiaa			
BOF	Basic Oxygen Furnace		
BOP	Basic Oxygen Process		
BOS	Basic Oxygen Steelmaking		
Ylhäältä puhallettavat konvertterit ↓			
LD	Linz-Donawitz		Ovako
LD-AC	LD-ARBED	CaO-powder	
OLP	Oxygen Lime Powder	CaO-powder	
LD-CL	LD-Circulating Lance		NKK
Sulan alapuolelta puhallettavat konvertterit ↑			
OBM	Oxygen Bottom Maxhütte	O ₂ , CaO, CmHn	Maxhütte
Q-BOP	Quelle/Quick — BOP	O ₂ , CaO, CmHn	US-Steel
LWS	Loire-Wendel-Sidelor	O ₂ , CaO, Oil	Sollac
KS	Klöckner Stahlerzeugung/Schrott	O ₂ , CmHn, C	Klöckner
AOD	Argon Oxygen Decarburization	←Ar, O ₂ , N ₂	Ahlström
CLU	Creusot-Loire-Uddeholm	H ₂ O	Uddeholm
Yhdistelmäkonvertterit, joissa pohjapuhallus inertillä kaasulla ↑ ↓			
LD-AB	Argon Bottom		NSC
LD-TB	Top and Bottom		Kobe
LD-SS	Spolsten		MF
LD-KG	Kawasaki Gas		KSC
ATH-B	August Thyssen Hütte-Bottom		ATH
LBE	Lance Bubbling Equilibrium		ARBED
NK-CB	Nippon Kokan Combined Blowing		NKK
VODC	Vacuum Oxygen Decarburization Converter		Rauma-Repola
Yhdistelmäkonvertterit, joissa pohjapuhallus hapella ↓ ↑			
LD-OB	Oxygen Bottom		NSC
LD-BD	Botten Dysor		MF
STB	Sumitomo Top and Bottom	CO ₂	Sumitomo
LD-HC	Hainaut Sambre, CRM		HS
LD-OTB	Oxygen Top And Bottom		Kobe
OBM-S	OBM-Scrap	↑←Oil, CaO	National
K-BOP	Kawasaki-BOP		KSC
BAP	Bath Agitation Process	Air, N ₂ , Ar	BSC
Japanilaisia ohjausjärjestelmiä			
NKK:	NARC	NKK'S Automatic Refining Control	
	CONTEC	Controlling Measures for Temperature and Carbon	
NSC:	LD-TOP	Total Optimum Process Control	
	CQT	Controlled Quick Tapping	
	Os	Oxygen accumulated in slag	
KSC:	SMART	System for Measuring and Attaining Refining Target	
	QDT	Quick Direct Tapping	
	ISCO	Index for Selective Carbon Oxidation	

suunniteltu 100 % romupanokselle /3/. Prosessissa pystytään estämään romun hapettuminen sulamisen alettua. Konvertteriin puhalletaan tällöin pohjan lävitse hiilipulveria, kalkkia ja happea. Savukaasun energian talteenoton avulla on laskettu päästävän primäärienergian kulutuksella 3,7 GJ/t, jonka on laskettu olevan 37 % vähemmän kuin sähköuunissa. Yhdellä 125 t KS-konvertterilla on tarkoitus korvata pienikokoinen masuuni, kolme 250 tonnin SM-uunia ja kaksi sähköuunia, joiden kapasiteetit ovat 80 ja 100 tonnia. Konvertterin tap-to-tap -ajaksi on laskettu 55 minuuttia ja vuosikapasiteetiksi 1 milj. tonnia.

YHDISTELMÄKONVERTTERIT, JOISSA POHJAPUHALLUS INERTILLÄ KAASULLA

Inerttikaasua käyttävän pohjapuhallusjärjestelmän rakentaminen päältäpuhallettavaan konvertteriin pystytään toteuttamaan suhteellisen pienillä kustannuksilla. Lähes kaikki suuremmat teräsyhtiöt ovat tehneet muutoksen vähintään koemielessä ja osa on muuttanut kaikki konvertterinsa yhdistelmäkonverttereiksi. Yhtään negatiivista lopputulosta ei toistaiseksi ole julkaistu, sitä vastoin kylläkin koko joukko erilaisia toteutusvaikeuksia.

Sekoituksen parantuminen on erityisen edullista korkean piipitoisuuden omaavaa raakarautaa käyttäville, matalahiilisiä teräksiä valmistaville suurille konverttereille. Kustannussäästö on tuolloin noin 5 mk/t. Inerttikaasumäärä on puhalluksen aikana yleensä 0,05 m³/t min ja puhalluksen lopussa sekä puhalluksen jälkeisissä sekoituksissa 0,25 m³/t min. Laatuvaatimuksista riippuen pyritään yleensä käyttämään mahdollisimman paljon tyyppiä argonin asemesta. Inerttikaasua johdetaan pohjan erikoistilien tai yksinkertaisten putkien lävitse. Jälkimmäisessä tapauksessa virtauksen tulee olla jatkuvaa.

Pohjoismaisista konverttereista ensimmäinen muutetaan yhdistelmäkonvertteriksi ensi kesänä. Kyseessä on Pohjoismaiden suurin, 145 t:n panoskokoa edustava SSAB Oxelösundin konvertteri. LBE-prosessin tärkeimmiksi eduiksi on esitetty kalkin parempaa hyväksikäyttöä, romunsulatusnopeuden kasvua ja matalahiilisten terästen parempia valmistusmahdollisuuksia.

Pohjapuhallus antaa myös mahdollisuuden pitää kuonapinta matalana, jolloin sekundäärihapella voidaan nostaa poistokaasun CO₂/CO-suhdetta ja lisätä siten romunsulatuskykyä. Menetelmä vaatii kaksoisjärjestelmän happivirtaukselle ja erikoisrakenteisen happilanssin pään.

Erikoisuutena tähän ryhmään luettavien prosessien joukosta on mainittava VODC, jollaisen Rauma-Repola on hankkinut Lokomon tehtaalleen. Prosessilla oli tarkoitus tehdä ensimmäinen sulatus vuorimiespäivien kunniaksi, mutta aikatauluun on sittemmin tullut pieniä muutoksia. Kyseessä on 7—15 tonnin konvertteri, joka saa raaka-aineensa sähköuunista. Konvertteri on varustettu päältä puhaltavalla happilanssilla ja vakuumikannella. Sekoituksesta huolehditaan pohjan kautta suoritettavalla Arhuuhtelulla. VODC-prosessi on happikonverttereista lähimpänä senkkametallurgista prosessia ja sen etuna on laaja korkealuokkaisten, runsasseosteisten terästen valmistusmahdollisuus.

YHDISTELMÄKONVERTTERIT, JOISSA POHJAPUHALLUS HAPELLA

Yhdistelmäkonverttereiksi on myös nopeasti muutettu suuria pohjapuhalluskonverttereita. Menetelmässä ovat säilyneet lähes kaikki pohjapuhalluskonverttereiden edut, mutta haitat ovat vähentyneet tai hävinneet. Menetelmä tarjoaa myös monipuolisimmat mahdollisuudet prosessin ohjaukseen, eri teräslaatuojen valmistamiseen ja erilaisten raaka-aineiden käyttöön. Erityisen nopeasti on kehitetty sekundäärihapen käyttöä hiilimonoksidin polttamiseksi sekä lisäpolttoaineiden käyttöä. Molemmat lisäävät romunsulatuskykyä ja siten parantavat prosessin energiataloutta.

Taulukossa on mukana myös yhteispohjoismainen LD-BD-menetelmä. Prosessia on ajettu MF:n kuuden tonnin koekonvertterilla Luulajassa. Koetuloksia ei vielä ole kokonaan saatu käsiteltyä, mutta eräänä piirteenä on voitu todeta sekoitusefektin pienempi merkitys pienissä konverttereissa.

HAPPIKONVERTTERI PROSESSIKETJUN OSANA

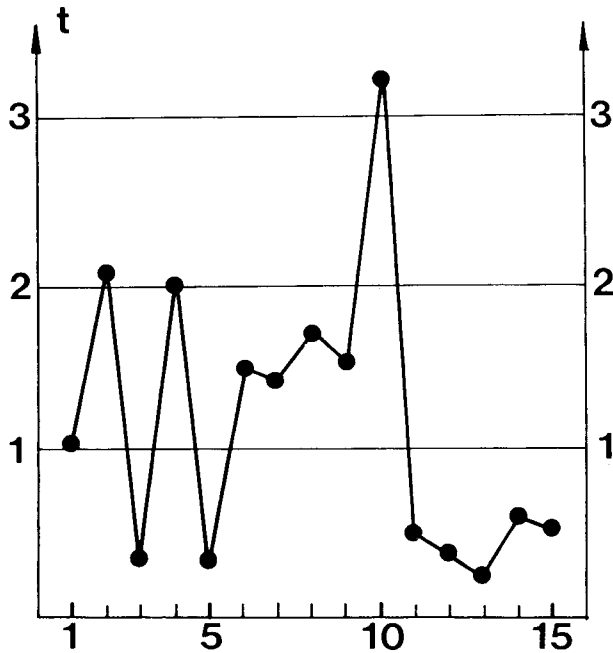
Eri konvertteriratkaisuja pohdittaessa on prosessia käsiteltävä koko teräksenvalmistusketjun osana. Uutena ratkaisuna on pidettävä esim. raakaraudan esikäsitelyä, missä rikin lisäksi poistetaan piitä ja fosforia. Käsitelyn vaikutukset happikonvertteriprosessiin ovat mm: kuonamäärän minimointi ja n. 40 % lyhyempi puhallus, jonka ainoana tehtävänä on hiilen hapettaminen. Menetelmää käytettäessä pystytään myös masuunissa käyttämään heikompileattuisia raaka-aineita. Menetelmä tulee suhteellisesti edullisemmaksi, mikäli romun tai esipelkistettyjen pellettien hinta nousee korkeaksi.

Myös teräksen käsittelyssä happikonvertterin jälkeen on tapahtunut kehitystä. Erityisenä huippuna voidaan pitää NSC:n Otan terästehdasta, missä 95 % teräksestä käsitellään happikonvertterin jälkeen kahdella 340 tonnin RH-vakuumilaitteistolla /4/. Käsitely kohdistuu sekä erikoisteräksiin että massateräksiin ja happikonvertterilla pyritään laadusta riippumatta samaan loppuhiilipitoisuuteen. Tällöin tähdätään 0,1 % hiilipitoisuuteen, mikä on happikonvertteriprosessille luonnollinen, helposti ennustettava ja taloudellinen tavoite.

Rautaruukin Raahan rautatehtaan 60-luvulla tehtyjä prosessiratkaisuja voidaan esitetyistä kehitysnäkymistä huolimatta vielä pitää kilpailukykyisinä. Nopea kehitys ja terästeollisuuden kriisit eivät kuitenkaan salli tuottavuuden paikallaan pysymistä.

Pohdittaessa tulevia ratkaisuja on erityisesti huomioitava uuden ohjaussuureen, pohjasekoituksen mahdollinen soveltuminen Rautaruukin prosessiin. Samoin on harkittava nopean konvertterista kaadon kehittämistä kapasiteetin tasaajaksi tilanteessa, jossa terässulatto estää maunien tasaisen ja energiataloudellisen ajon.

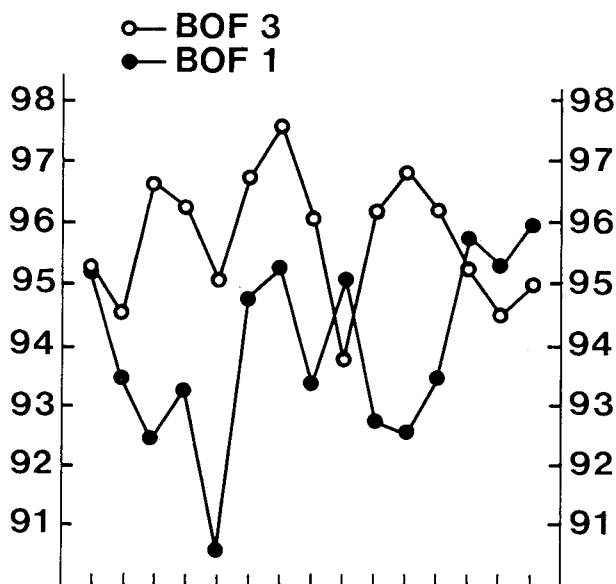
Rautaruukin prosessissa on viidentoista vuoden kehityksen jälkeen vielä paljon tehtävissä tuottavuuden kehittämiseksi. Esimerkiksi olen ottanut mikseristä konvertteriin joutuvan rikkipitoisen, korkeapioksidipitoisen kuonan määrän (kuva 4) ja konvertteriprosessin Fe-saannin vaihtelun (kuva 5).



Kuva 4. Kuonamäärä perättäisissä panostuksenkoissa mikseriltä n:o 1. Panos 68 t (RR Oy, 5.12.81).

Fig. 4. Amount of mixer slag on successive hot metal charges.

Dynaamisesti ohjatun näytteenottolanssia käyttävän BOF-prosessin jälkipuhallusmäärä on yleisesti 10–15%. Rautaruukin vastaavaa arvoa 20–23% voidaan edellisen valossa pitää erittäin hyvänä varsinkin kun huomioidaan, että lisähiiletystarve on vain 0,23 kg/t aihioita ja että maksimoitu romupanos voi sisältää 90% Fe:tä 98% n asemesta.

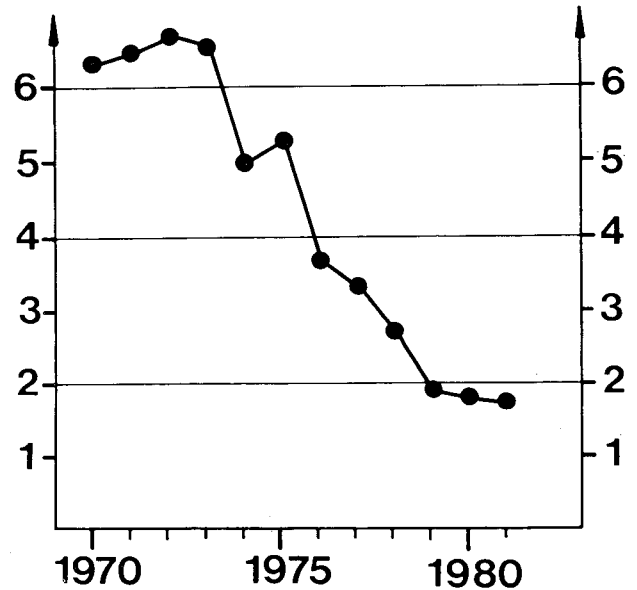


Kuva 5. Fe:n saanti perättäisissä sulatuksissa (RR Oy, 13.3.82)

— konv. n:o 1 karkealevyalaatuja
— konv. n:o 3 nauhalaatuja.

Fig. 5. Fe yield in successive charges
— BOF 1 plate grades
— BOF 3 strip grades

Kg/t SLABS



Kuva 6. Tulenkestävien materiaalien kokonaiskulutus konvertterissa kg/t aihioita.

Fig. 6. Total consumption of refractory materials in BOF of Rautaruukki Oy.

Arvioitaessa happikonvertteriprosessin kehitysinvestointien tuottavuutta tulenkestävien materiaalien säästöt on lähes poikkeuksetta otettu laskelmiin mukaan. Rautaruukilla tulenkestävien materiaalien kokonaiskulutus on kehittynyt erittäin suotuisasti ilman suurempia investointeja (kuva 6). Vuoraus on koostunut vuodesta 1976 lähtien tervasidotusta dolomiitista (2/3) ja magnesiitista (1/3). Tulos kuvaa prosessin ja prosessiketjun kehitystä ja on kansainvälistä huippuluokkaa. Kulutusluvut olisivat todennäköisesti edelleen puolta pienempiä, mikäli tervasidottu magnesiitti korvattaisiin uudella hiili-magnesiittihiililaadulla /5/. Taloudellisuus pysyisi tällöin kuitenkin samana.

Raahan rautatehtaalla lähiajan kehityksen eräänä avaintekijänä on panostaminen automaattiseen tietojenkäsittelyyn. Tavoitteena ei ole yhdellä napin painalluksella toimiva prosessi, vaan prosessitietouden lisääminen ja prosessin taloudellisuuden ohjaus sekä tuottavimpien investointien löytäminen. Kun tiedot hallitaan paremmin, on myös mahdollista kehittää taloudellisemmat mallit konvertteriprosessiin ja samalla täyttää paremmin laatuvalikoiman kiristyvät vaatimukset. Tietojen On-line -rekisteröinnillä saadaan onnistumisen ja tavoitteellisuuden välittömästi työntekijöiden haltuun. Samalla myös tiedon siirto kehittyy uudelle tasolle prosessiketjussa, jossa ajoitus ja tasainen tuotanto ovat avainsanoja.

Rautaruukin esimerkit osoittavat, että vaikka uudet prosessit ja ohjausmenetelmät antavat loistavia tuloksia, myös olemassa olevat prosessit ovat edelleen kehityskelpoisia. Pienillä terästehtailla vaaditaan erityisen perusteellista harkintaa nopeasti kehittyneiden prosessimahdollisuuksien hyödyntämisessä.

KIRJALLISUUS — REFERENCES

1. Development of the L.B.E. process, AISE, 1981, Pittsburgh.
2. McMaster Symposium No. 9, May 1981, Hamilton.
3. Stahl und Eisen, Mai, 1981, s. 63–64.
4. Iron and Steelmaking, June 1981, s. 26–30.
5. Iron and Steelmaking International, April 1981, s. 67–78.

Summary → p. 61

Lead — A Strategic Metal

Dipl.Eng. Arun B Mukherjee, Oy Grönberg Ab, Vantaa Finland

INTRODUCTION

Lead has been used to the benefit of mankind since ancient times. There is ample evidence of the early production of lead. The Egyptians, the Hebrews and the Romans used it for glazing pottery and plumbing. But the industrial revolution and the change of life style brought a rapid increase in the consumption of lead and today it is a most widely used non-ferrous metal.

Like many other metals, lead is toxic. But it is not dangerous if we can handle it carefully.

PROPERTIES AND ITS OCCURRENCE

Lead (atomic weight 207.21, density 11.34) is a bluish or silver gray soft heavy metal whose melting point is 327.5 °C and boiling point at atmospheric pressure is 1750 °C. It has compounds — organic such as tetraethyl lead (TEL — anti-knock compound in petrol) and inorganic substances derived from metallic lead, such as storage batteries, solders, paints, pigments, etc.

Lead ores occur mainly in Canada, the U.S.A, Mexico, Peru, Ireland, Poland, Sweden, Spain, the Soviet Union, West Germany, Yugoslavia, southwest Africa, China, India, Japan, North Korea and Australia. Most of the primary lead is produced from the ore galena (PbS). There are other minerals, such as anglesite (PbSO₄, 68.3 per-

cent lead, cerussite (PbCO₃, 77.5 percent lead) and pyromorphite which are of minor importance today from a metallurgical point of view.

On the other hand, spent batteries are the main source for the production of secondary lead. No geological team is required to find scrap batteries.

PRODUCTION AND CONSUMPTION

Fig. 1 indicates mine and metal production and consumption of lead between the years 1971 and 1981. Unfortunately, mine production has not grown at all and in the last decade only one new mine (capacity 100 000 tons of lead in concentrate) — Aggeneys in South Africa has been opened /1/. The growth of lead production (40 percent in the year 1980) has been caused by the increase in the supply of lead bearing scrap materials, i.e. mostly battery scrap and this has occurred in the industrial countries.

The consumption pattern of this strategic metal is shown in Fig. 2. In the last decade the consumption growth rate of lead in the developing and industrialized countries was 6.2 and 1.4 percent, respectively. In 1971 the developing countries consumed 9 percent and the industrialized countries 91 percent, whereas in 1980 the percentage was 14 and 86, respectively. Here we can see that the consumption pattern of lead in the developing countries has grown steadily though lead market has been quite volatile during the past few years.

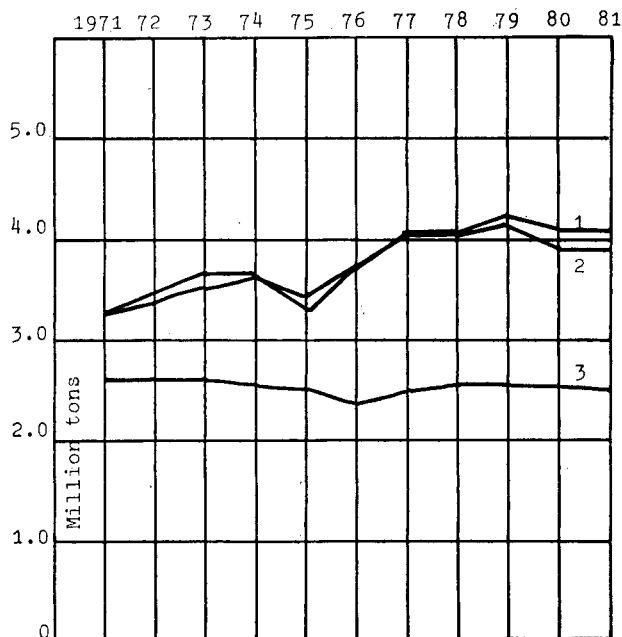


Fig. 1. Lead-Non-socialist world — 1971—1981, source: /1/
1 — Metal production
2 — Consumption
3 — Mine production

Kuva 1. Lyijyn tuotanto (1), kulutus (2) ja kaivostuotanto (3) ei-sosialistisissa maissa 1971—1981 lähteen /1/ mukaan.

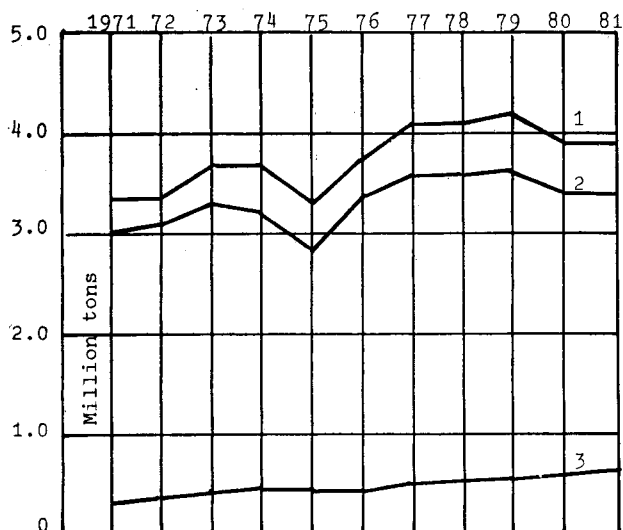


Fig. 2. Lead — Consumption — 1971—1981, source: /1/
1 — Non-socialist world
2 — Industrialized countries
3 — Developing countries

Kuva 2. Lyijyn kulutus 1971—1981 ei-sosialistisissa maissa (1), läntisissä teollisuusmaissa (2) ja kehitysmaissa (3) lähteen /1/ mukaan.

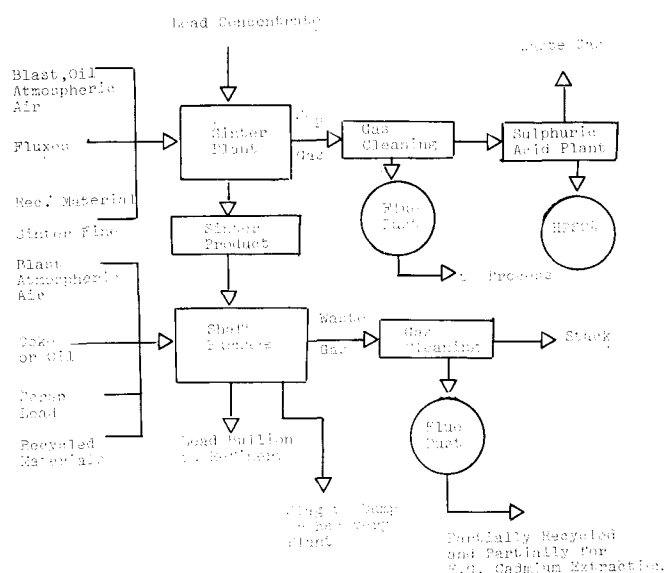


Fig. 3. Roast-reduction process for lead extraction, source: /3/.

Kuva 3. Lyijyn ekstrahointi pasutus-pelkistys-menetelmällä /3/.

EXTRACTION PROCESSES

Primary Lead

Pyrometallurgy

Over 80 percent of the primary lead production is based on one specific process /2/. This process is: the desulphurization of lead concentrate in the sinter machine and reduction of the oxidized sinter product in the shaft furnace followed by stagewise refining of the raw lead (Fig. 3). The Imperial Smelting Process (ISP) and the process developed and operated by the Boliden Co. are also pioneers for the production of lead.

Beside these, in the past decades we can see quite a few developments in the field of primary and secondary lead smelting. In the former the QSL process, the direct smelting process reported by Warner H. et al. /4/ and the TBRC process are well known to us. In the 70s, the greatest development was the KivCet process. Its success is attributed to the development of i) cooling system ii) electrostatic filter which continuously returns the dust to the smelting shaft and iii) tight seals between the electrodes and the furnace /5, 6/. In 1981 the successful pilot tests of the lead flash smelter based on Outokumpu Lead Smelting Process have been reported /7/. It may start a new era in the field of energy consumption and environmental protection mainly because of low gas volume per ton of lead.

Hydrometallurgy

Today there are no commercial hydrometallurgical routes for the extraction of lead. But there is a refining process called the Betts Process where high bismuth content lead bullion is electrolyzed in an aqueous solution of hydrofluosilicic acid (H_2SiF_6) and lead fluosilicate (Pb_2SiF_6) /8/.

Many studies have been done on the ferric chloride leaching of galena and the fused salt electrolysis of lead chloride to recover lead since 1923. Commercially the process has not been successful yet /9/. But the U.S. Department of the Interior Bureau of Mines has submitted a feasibility report for producing lead from galena by ferric chloride leaching followed by fused salt electrolysis. The process claims to be pollution free, simple and economical /10—12/.

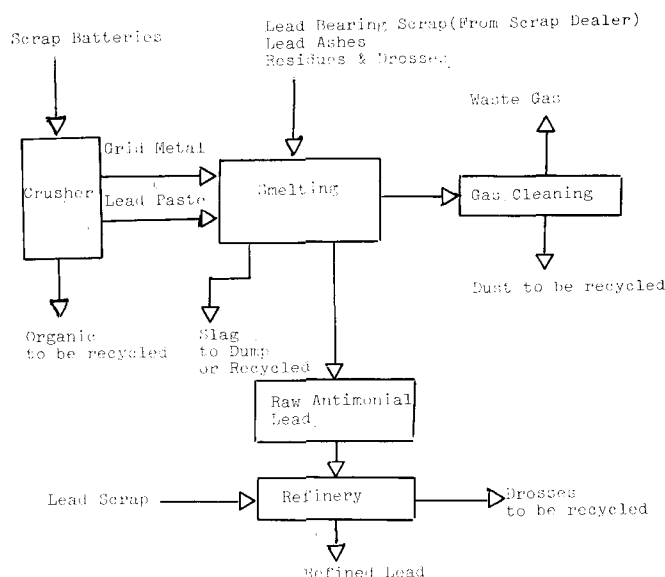


Fig. 4. A typical flowsheet of a modern secondary lead smelter.

Kuva 4. Nykyaikaisen lyijysulattimon tyypillinen prosessi-kaavio.

One of the difficulties for the hydrometallurgical extraction processes lies on the dumpability of the water soluble residues. This is specially difficult on the primary side when it will end up with huge amount of lead contaminate gangue.

Secondary Lead

Direct and Indirect Processes

Lead scrap (75 percent of which is scrap storage batteries) is the source of raw material for the production of secondary lead. Traditionally battery scrap or lead bearing scrap is fed in the presence of slag forming compounds into a blast furnace or a reverberatory furnace to produce lead bullion. A typical flow sheet is shown in Fig. 4. The secondary lead smelters include mainly the following processes:

- i) Varta/Bergsøe ii) Preussag/NL industries iii) Tonolli/Pennaroya iv) Oerlikon v) RSR vi) Mitsubishi/Diamond Engineering (The details of the processes can be read elsewhere).

According to Gardiner, the overall design approach to secondary lead smelters has been changed due to new battery construction, complex nature of grid metals, pollution control laws, personnel protection and costs /13/. It seems that an integrated system approach in secondary lead smelters is necessary for their survival.

Hydrometallurgy

The electrochemical process (Ginatta-Snamprogetti Process) for the recovery of lead from scrap batteries was designed and constructed in Santena (Italy) in 1979. The process claims one step production of high purity electrolyte lead (99.99 percent minimum) /14/. On the other hand, the new compact battery scrap upgrading process (MA-41 at the Grönberg Works) releases clean products (lead, lead oxide and lead sulphate) which are very suitable in the hydrometallurgical extraction of lead.

USES

Nearly half of the world total lead production is consumed in the manufacturing of batteries. The petroleum industry has been using tetraethyl lead since 1920 as anti-knock compound in fuels. Due to strict environmental laws, the use of lead additives in petrol seems likely to

continue to fall in industrial countries. At present, 7 percent of world lead production is consumed as an anti-knock compound in petrol /1/.

There is a fairly steady demand of this strategic metal in the cable, construction, paint and ammunition industries. Large amounts of lead are also used in soldering. It is reported that there is a strong market opportunity for this metal as a shield for nuclear radiation /1/. So it is quite clear that lead plays a vital role in our modern life, particularly in the industrial economies.

AIR POLLUTION CONTROL

The topic of air pollution control for lead is discussed in considerable detail by many authors /15/. Here we often forget that when any material resources are extracted, processed, converted and used, there will be some pollution impacts on environment.

There are proven technologies for controlling emissions but the main problems are higher operating costs and larger investment costs. For example to produce one ton of lead, a smelter has to clean about 30 to 50 tons of air including hygienic air /16/. To reduce lead burden in the atmosphere the following points should be reconsidered:

System Design: Proper process designing, storage and effective ventilation systems will reduce lead burden.

Temperature Control: Fume emission can be reduced by controlling the temperature of molten lead to below 500 °C.

Moistening: Dry lead compound, if possible, should be replaced by pastes, granules, pellets etc. The surface of working place should be kept wet.

BLOOD LEAD LEVEL AND ITS EFFECTS

There are two main pathways through which lead enters into human body and these are inhalation and ingestion (Fig. 5). After entering, approximately 40 percent of lead is absorbed by the lungs and the rest enters the blood stream /18/. The mean blood lead values for different population groups (adults) generally lie between 10 to 30 µg/100 ml blood /19/. In the Finnish industry, the maximum acceptable value is 60 µg/100 ml blood (In 1981 at

the Grönberg Lead Smelter the mean PbB values of workers laid between 42 to 58 µg/100 ml blood). Nowadays lead poisoning is quite rare in Finland and it occurs only if the blood lead value exceeds 120 µg/100 ml blood /18/.

The effect of lead on human body depends upon age, general condition of health, amount of lead absorbed and length of exposure. At first the excessive absorption of lead causes headaches, tiredness, loss of weight, depression, etc. But if the exposure continues for a long period, more serious problems will then arise /20/.

CONCLUSION

This strategic metal lead plays an important role in our modern society. In the 90s sixty percent of its production will come from the secondary lead sources. Many processes are available today and its selection depends upon the local condition and demands. There is no doubt that the lead technology has to change due to environmental laws, personnel protection and costs.

ACKNOWLEDGEMENT

The author acknowledges with thanks the assistance of Kurt Westerlund in the preparation of this paper. The author is also grateful to Prof. V. Lindroos for the optical micrograph of lead.

YHTEENVETO

Lyijyä on käytetty ihmiskunnan tarpeisiin jo ennen ajanlaskumme alkua ja tällä ominaisuuksiltaan ainutlaatuisella metallilla on tänäkin päivänä tärkeä asema nykyisessä yhteiskunnassamme.

Melkein puolet maailman lyijyn tuotannosta käytetään akkujen valmistukseen. Tulevaisuuden kasvatat ovat paikallisparistot varasähköjärjestelmissä sekä radioaktiivisen säteilyn suojat. Lyijyä käytetään myös bensiinissä, rakentamisessa, ammuksissa ja juotostinassa.

Lyijyä tuotetaan maailmassa n. 5,0 x 10⁶t/vuosi. Hinta on viime vuosina vaihdellut 2,8 ja 6,0 mk/kg välillä. Tänä päivänä 60 % lyijystä valmistetaan rikasteista, pääosin galenasta (PbS) ja loput 40 % romusta pääasiassa akkuroomusta. Kymmenen vuoden kuluttua suhteen enustetaan olevan päinvastainen, 40 % rikasteesta ja 60 % romusta.

Lisätietämys lyijyn haittavaikutuksista ihmiseen muuttaa parhaillaan maailmassa ympäristö- ja työhygieenisiiä normeja. Tämä puolestaan antaa haasteen uuden lyijynvalmistus- ja käsittelyteknologian kehittämiseksi.

Parhaat teknistaloudelliset mahdollisuudet näyttää tällä hetkellä olevan jatkuvatoimisella sulatus- ja raffiointiteknikalla. Tällä tekniikalla syntyvät hygieniailmamäärät ja savukaasumäärät on saatu minimiin.

Korkeat energiakustannukset ja hitaat reaktiot sekä jätteiden kaatopaikkakelvottomuus vaikeuttavat hydrometallurgisten sovellutusten käyttöönottoa.



Fig. 6. Optical micrograph of lead.

Kuva 6. Lyijyn mikrorakennetta.

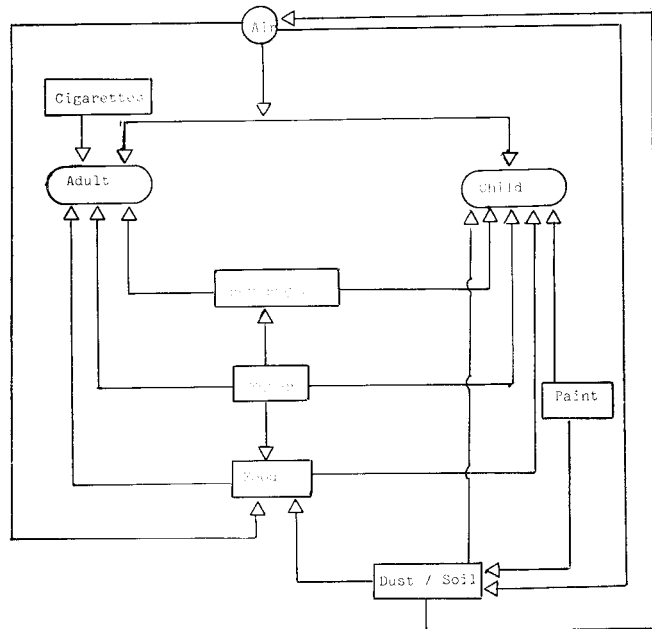


Fig. 5. Principal pathways of human exposure to lead, source: /17/

Kuva 5. Lyijyaltistuksen pääasialliset tiet /17/.

Epäpuhtauksien käyttäytymisestä kuparin pyrometallurgiassa

Dos. Heikki Jalkanen, dipl.ins. Antti Roine, Prosessimetallurgian laboratorio, Teknillinen korkeakoulu, Otoniemi

JOHDANTO

Samanaikaisesti kun tuotannon painopiste siirtyy vaativampiin kuparilaatuihin, joudutaan kuparin raaka-aineenä käyttämään kasvavassa määrin kompleksisia, ns. epäpuhtaita rikasteita, jotka pääkomponenttien Cu, Fe ja S ohella usein sisältävät merkittäviä määriä seuraavia kuparin seuralaismetalleja Co, Ni, Zn, Pb, As, Sb, Bi, Se, Te, Sn, Cd, Hg Mo etc. Vaikka Suomen kaivokset eivät (toistaiseksi) tuotakaan kompleksisia rikasteita, joudutaan niiden metallurgisen käsittelyn ongelmiin ottamaan kantaa kahdesta syystä:

1) omien rikasteiden ehtyessä joudutaan rikasteita ostamaan kansainvälisiltä markkinoilta ja 2) prosessitekni- sen "know how"n vienti törmää kompleksisten rikasteiden käsittelyn ongelmiin.

Epäpuhtaiden rikasteiden käsittelyyn liittyy kolme aspektia, jotka asettavat tietyt rajat prosessointimenetelmille: 1) Lähes kaikki kuparin seuralaismetallit ovat epäpuhtauksia eri kuparilaaduissa, ja niiden pitoisuudet pyritään pitämään mahdollisimman alhaisena. Eräät metallit kuten Bi, Sb ja As aiheuttavat jo pieninä pitoisuuksina hankaluuksia kuparin elektrolyttisessä rafinoinnissa. 2) Useat tyypilliset kuparin seuralaiset ovat myrkyjä (As, Bi, Sb, Pb, Cd, Hg etc.) ja ne on sen vuoksi otettava prosessin yhteydessä mahdollisimman tarkoin talteen. 3) Kaikki edellä luetellut metallit ovat "arvometalleja" so. niillä on teollista käyttöä, joten niiden talteenotolla on myös taloudellista merkitystä. Voidaankin sanoa, että kuparin pyrometallurgia on yhä selvemmin kehittymässä "epäpuhtauksien" kontrolloiduksi eliminoinniseksi ja talteenotoksi. Tämä aspekti tulee yhä selvemmin määräämään sen metallurgisen tien, jonka kautta sulfidiset kuparirikasteet jalostetaan.

Tässä esityksessä tarkastellaan lyhyesti: 1) epäpuhtauksien eliminoinnin termodynaamisia edellytyksiä pyrometallurgisen käsittelyn eri vaiheissa, 2) esitellään kursorisesti sitä tutkimusta, jota TKK:n prosessimetallurgian laitoksessa suoritetaan tämän esityksen otsikon alla, sekä 3) esitetään eräitä tutkimustuloksia, jotka valottavat epäpuhtauksien käyttäytymistä kuparikivessä kuparikiven sulatuksen ja konvertoinnin olosuhteissa.

EPÄPUHTAUKSIEN ELIMINOINNISTA YLEENSÄ

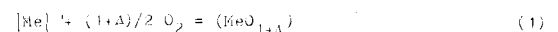
Epäpuhtauksien eliminointi riippuu prosessin termodynaamisista, prosessidynaamisista (kinetiikka, aineensiirto jne.) ja prosessiteknisistä edellytyksistä, joista tässä tarkastellaan ensinmainittuja. Termodynamiikka asettaa perusedellytykset, joiden puitteissa toimitaan ja yleensä ne rajat joihin voidaan päästä, kun muut edellytykset ovat ideaaliset. Epäpuhtauksien poistoon pyrometallurgisin keinoin on olemassa lähinnä kaksi menetelmää:

1) Epäpuhtauksien kuonaus, joka tapahtuu a) kuparikiven sulatuksen ja konvertoinnin yhteydessä tai b) suoritetaan raakakuparin termisen raffinoinnin yhteydessä synteettisillä kuonilla.

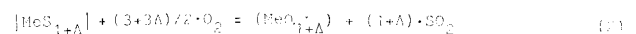
2) Epäpuhtauksien haihduttaminen a) kiven sulatuksen ja konvertoinnin yhteydessä, b) käsittelemällä raakakupari vakuuissa (myös kaasuhuuhtelu on mahdollinen), c) helposti höyrystyvien yhdisteiden muodossa esim. epäpuhtauksien klooraava haihdutus (klooraava pasutus, mutta voidaan ajatella vastaavaa käsittelyä myös kiven sulatuksen ja raakakuparin termisen raffinoinnin yhteydessä).

EPÄPUHTAUKSIEN ELIMINOINNIN TERMODYNAMIikka

Epäpuhtauksien poiston termodynamiikka alkaa niiden reaktioiden tasapainoiloista eri prosessivaiheiden olosuhteissa, joiden kautta epäpuhtaudet poistuvat prosessin kuparilinjasta. Kuonaus voidaan esittää seuraavilla reaktioilla riippuen siitä, missä muodossa kyseinen epäpuhtaus esiintyy siinä faasissa (tässä metallinen sula kupari tai kuparikivi), mistä kuonaus tapahtuu



tai



Suorat sulut yhtälöissä (1) ja (2) viittaavat metalli- ja kivifaaseihin, kaarisulut kuonafaasiin, Δ ilmaisee yhdisteen koostumuksen poikkeamista 1/1 stökiometriasta.

Kun kysymyksessä ovat laimeat liuokset, jolloin painoprosentit ovat suoraan verrannollisia moolisuuksiin, saadaan epäpuhtauskomponenttien tasapainojakautumiskertoimille seuraavat tasapainoja (1) ja (2) vastaavat lausekkeet:

$$\frac{p_{SO_2}}{p_{Me}} = \frac{p_{SO_2}}{p_{Me}} \cdot \frac{1}{p_{O_2}^{(1+A)/2}} \cdot \frac{1}{Y_{(MeO)_{1+\Delta}}} \cdot p_{O_2}^{(1+A)/2} \quad (3)$$

ja

$$\frac{p_{SO_2}}{p_{Me}} = K_2 \cdot \frac{Y_{(MeO)_{1+\Delta}}}{Y_{(MeS_{1+A})}} \cdot p_{O_2}^{(3+3A)/2} / p_{SO_2}^{(1+A)} \left\{ \frac{p_{O_2}}{p_{SO_2}} \right\}^{1+A} \quad (4)$$

Jakautumiskerroin so. kyseisen metallin pitoisuuksien suhde tasapainotilassa kuona- ja kivifaasissa (tai metallifaasissa) ilmentää kuonauksen termodynaamisia edellytyksiä ja sen arvo määräytyy yo. lausekkeiden mukaisesti seuraavista tekijöistä:

1) Muodostuvan oksidin stabiilisuudesta (K^1), tai oksidin ja hapettuvan sulfidin stabiilisuuksien suhteesta (K^2);

2) hapettumismekanismista riippuen joko hapen osapaineesta (reaktio 1 ja lauseke 1'), tai hapen ja rikin osapaineiden suhteesta (reaktio 2 ja lauseke 2');

3) Epäpuhtauskomponentin ja metallisen kuparin tai sen ja kiven komponenttien (Cu, Fe, S, O) välisen vuorovaikutuksen voimakkuudesta

$$(Y_{Me}^{Cu} \text{ tai } Y_{MeS_{1+\Delta}}^m);$$

4) Epäpuhtausmetallin oksidin ja kuonan oksidikomponenttien välisen vuorovaikutuksen voimakkuudesta

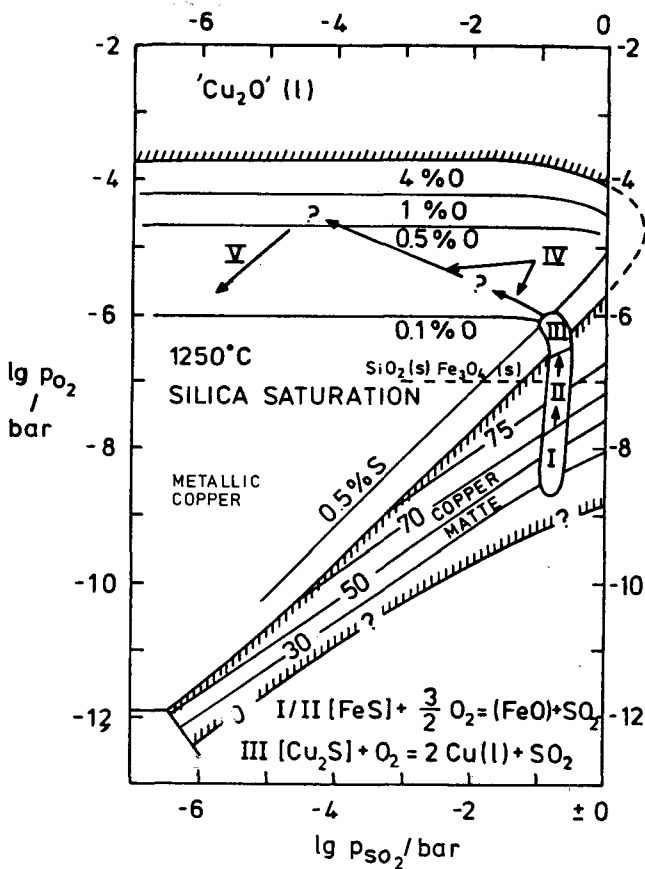
$$(Y_{MeO_{1+\Delta}}^s).$$

Yo. käsittelyssä yläindeksi s viittaa kuonaan (slag), Cu kuparifaasiin ja m kivifaasiin (matte).

Epäpuhtausmetallin haihtuminen raakakuparista tai kuparikivestä voidaan esittää reaktiona



jolloin kyseisen metallin haihtumisen termodynaamisia



Kuva 1. Kuparirikasteiden pyrometallurgisen käsittelyn prosessivaiheet $lg p_{O_2}$ — $lg p_{SO_2}$ koordinaatistossa: I kiven sulatus, II konvertoinnin kuonapuhallus, III rikkaaksipuhallus, IV raakakuparin terminen raffinointi, V deoksidointi. Rikkidioksidipitoisuus sulatus- ja konvertointivaiheissa, 14–21 %, vastaa rikastamattoman puhallusilman happipitoisuutta 21 %. Kuparin isopitoisuuslinjat homogeenisen kiven alueella on arvioitu vielä julkaisemattomien tulosten perusteella.

Fig. 1. The pyrometallurgical stages of treatment of sulphidic copper concentrates in $lg p_{O_2}$ — $lg p_{SO_2}$ diagram: I matte smelting, II slag blowing, III copper blowing, IV fire refining, V deoxidation. The SO_2 concentration corresponds to air as blow gas. The isoconcentration lines of copper have been drawn according to unpublished results.

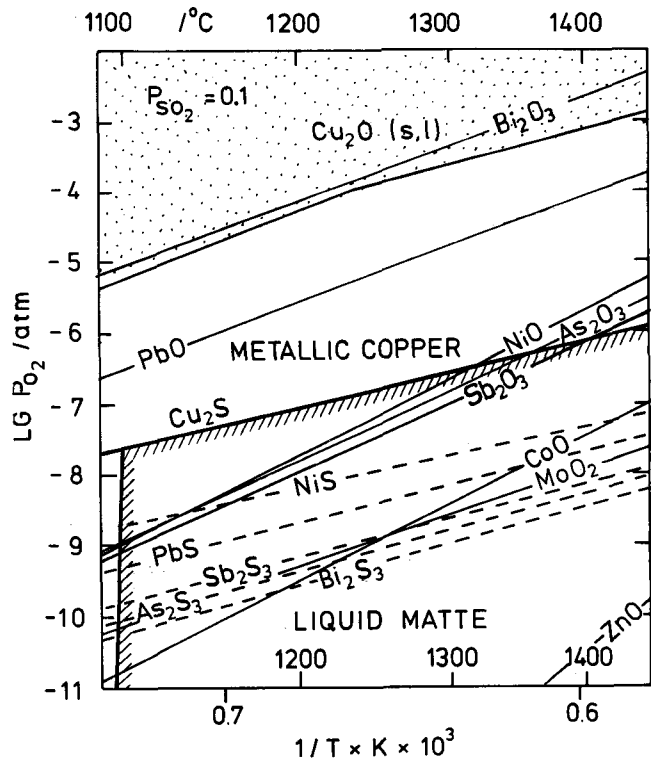
edellytyksiä (kunkin muodostuvan kaasumolekyylipolymerin suhteen) ilmaisee tasapainoyhtälö

$$p_{Me_n} = p_{Me_n}^0 \cdot a_{Me_n}^n = p_{Me_n}^0 \cdot (\gamma_{Me_n} \cdot x_{Me_n})^n \quad (3')$$

Yhtälössä (3') $p_{Me_n}^0$ on polymeerin Me_n osapaine puhtaan metallin kanssa tasapainossa, ja γ_{Me_n} on komponentin aktiivisuuskertoimen ja x_{Me_n} sen mooliosuus sulafaasisa.

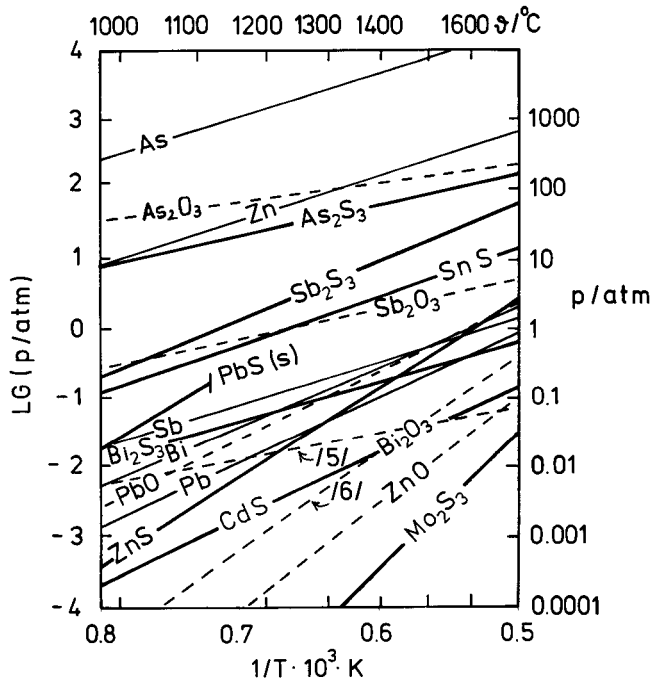
Kuvassa 1 on esitetty kuparin pyrometallurgisen käsittelyn eri vaiheet $lg p_{O_2}$ — $lg p_{SO_2}$ koordinaatistossa. Termodynaamiselta kannalta on olennaista, että prosessin edistytessä a) systeemin hapetusaste (happipotentiali, $lg p_{O_2}$) kasvaa, b) systeemin rikkipotentiali ($lg p_{S_2}$, $\propto lg (p_{SO_2}/p_{O_2})^2$) laskee ja c) kuparin aktiivisuus kasvaa kunnes se konvertoinnin rikkaaksipuhallusvaiheessa (muuttokiven puhallus) saavuttaa arvon $a_{Cu} \sim 1$. Kuvasta 1 käyvät ilmi ne olosuhteet, joiden puitteissa eri faasit kuparikivi, raakakupari ja rautasilikaattikuona ovat stabiilit ja missä olosuhteissa siis eliminoitumisprosessit eri faaseista voivat tapahtua.

Epäpuhtausmetallin käyttäytymistä kiven sulatuksen, konvertoinnin ja raakakuparin termisen raffinoinnin olosuhteissa ja kuonautumisedellytyksiä voidaan kvalitatiivisesti arvioida vertailemalla epäpuhtausmetallin sulfidin, oksidin ja metallitilan keskinäistä stabiilisuutta ko. olosuhteissa, kuva 2. Kuvan 2 perusteella voidaan



Kuva 2. Eräiden epäpuhtausmetallien sekä niiden muodostamien sulfidien ja oksidien stabiilisuusalueet rikkidioksidin osapaineessa $p_{SO_2} = 0.1$ bar. Pb:lle, As:lle, Sb:lle ja Bi:lle käytetyt termodynaamiset arvot on ekstrapoloitu matalista lämpötiloista ja ne ovat siitä syystä epäluotettavia. Laskelmissa käytetty lähteitä /1–4/.

Fig. 2. Stability regions of some impurity metals, their sulphides and oxides at $p_{SO_2} = 0.1$ bar. Stability limits for Pb, As, Sb and Bi and their compounds are inaccurate due to the low reliability of thermodynamic values extrapolated from low temperature values.



Kuva 3. Eräiden helposti höyrystyvien metallien, sulfidien ja oksidien kokonaishöyrystyminen lämpötilan funktiona. Laskelmissa käytetty lähteitä /1, 5, 6/.

Fig. 3. Total pressures of saturated vapour over some volatile metals, sulphides and oxides as a function of temperature.

tietyin varauksin (aktiivisuuskertoimien arvo eri faaseissa) tehdä seuraavat laadulliset johtopäätökset:

1) Zn ja ilmeisesti Mo ja Co ovat hapetettavissa ja pitkälle kuonattavissa jo kiven stabiilisuusalueella so. konvertoinnin olosuhteissa.

2) Ni, As, Sb, Pb ja erityisesti Bi kuonautuvat heikosti kuparikivestä so. konvertoinnin olosuhteissa. Nämä epäpuhtaudet ovat kuonattavissa vain korkeissa hapen osapaineissa raakakuparista käyttämällä synteettisiä kuonia, joilla on korkea absorptiokyky (ko. komponentin oksidin aktiivisuuskertoimen on alhainen).

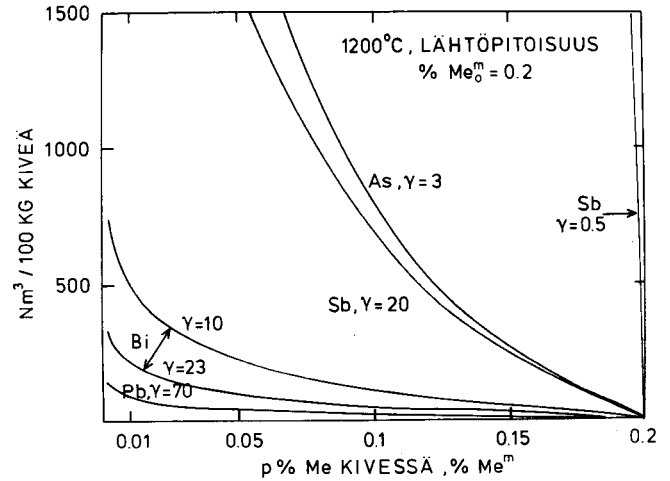
3) Lämpötilan alentaminen näyttää stabiloivan oksideja kuparikiven suhteen — kiven stabiilisuusalueen yläraja alenee loivemmin lämpötilan mukana kuin $Me-MeO_{1+\Delta}$ tai $MeS_{1+\Delta}-MeO_{1+\Delta}$ tasapaino. Vastaava vaikutus saadaan aikaan nostamalla rikkidioksidin osapainetta — osapainearvolla $p_{SO_2} = 1$ kiven stabiilisuusalueen yläraja nousee yhden dekadin verran $Me-MeO_{1+\Delta}$ tasapainon pysyessä muuttumattomana.

Kuvassa 3 on esitetty eräiden helposti höyrystyvien metallien sekä niiden oksidien ja sulfidien kokonaishöyrystyminen. Kuva antaa vain hyvin kvalitatiivisen käsityksen epäpuhtauksien haihtuvuudesta, sillä

1) höyrystymismääritykset ovat useiden komponenttien osalta epäluotettavia ja eräiden yhdisteiden (As, Sb, Bi) höyrystymiskäyrät on ekstrapoloitu matalalämpötila-arvoista,

2) kokonaishöyrystyminen ei anna oikeaa kuvaa ko. aineen haihtuvuudesta, koska höyrystyksen koostumus on usein hyvin monimutkainen kaasufaasin sisältäessä useita polymerisoituneita molekyylilajeja (esim. As, As₂, As₃, As₄, AsS, As₂S₂ jne.),

3) komponentin aktiivisuuden aleneminen vaikuttaa voimakkaasti höyrystyksen koostumukseen, jonka polymerisointisaste laskee jyrkästi verrattuna kylläisen höyrystyksen koostumukseen ($a_{Me} = 1$).



Kuva 4. Eräiden epäpuhtauksien transitoriseen haihtumukseen (kuparikivestä) tarvittavat teoreettiset kaasumäärät. Laskelmissa otettu huomioon kahden runsaimman polymeerin osapaineet. Lähde /7/.

Fig. 4. The theoretical gas amounts in transitory evaporation of some impurities from copper matte. Vapour pressures of the most common polymers have been taken into account in the calculations.

Kuvassa 4 on esitetty haihtumukseen (kuparikivestä) tarvittavan teoreettisen kaasumäärän ja epäpuhtauskomponentin pitoisuuden välinen yhteys transitorisen tasapainohaihtumuksen olosuhteissa. Johtuen aktiivisuuskertoimien erisuuruudesta ja siitä, että polymerisoituneiden molekyylien osuus kaasussa on alhaisen aktiivisuuden vuoksi jyrkästi laskenut kylläiseen höyrystyseen verrattuna, komponenttien keskinäinen haihtuvuus saattaa olla varsin erilainen kuin arvioituna kuvan 3 perusteella.

TUTKIMUKSIA TKK:N PROSESSIMETALLURGIAN LABORATORIOSSA

TKK:n prosessimetallurgian laitoksessa epäpuhtauksien eliminoinnin problematiikkaa on tutkittu muodossa tai toisessa jo yli 7 vuotta, laajalla rintamalla kuitenkin vasta viimeiset kolme vuotta Outokumpu Oy:n ja Jernkontoretin projekteissa. Seuraavassa luettelomainen esitys tutkimuskohteista:

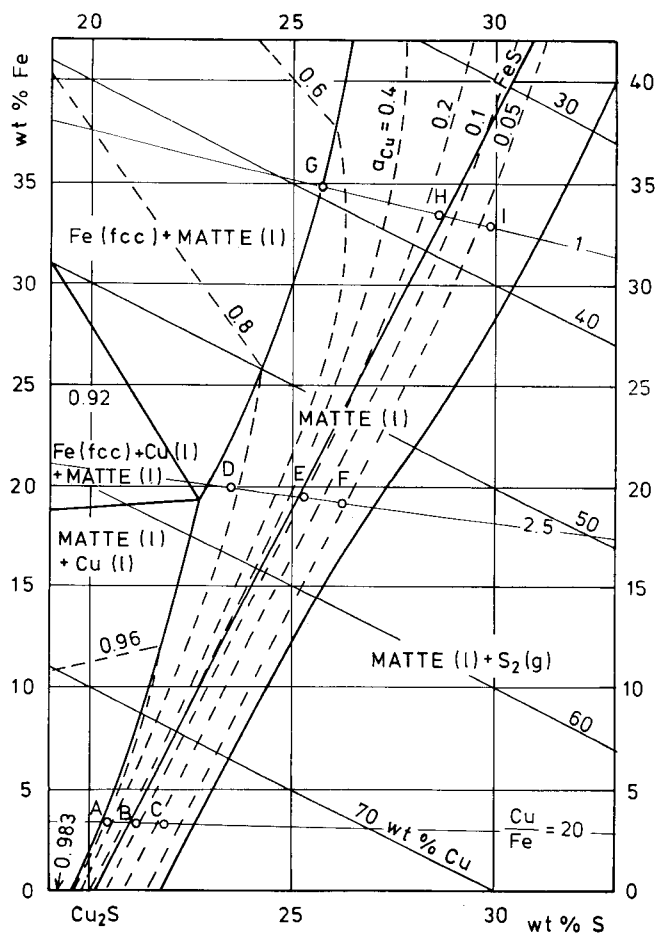
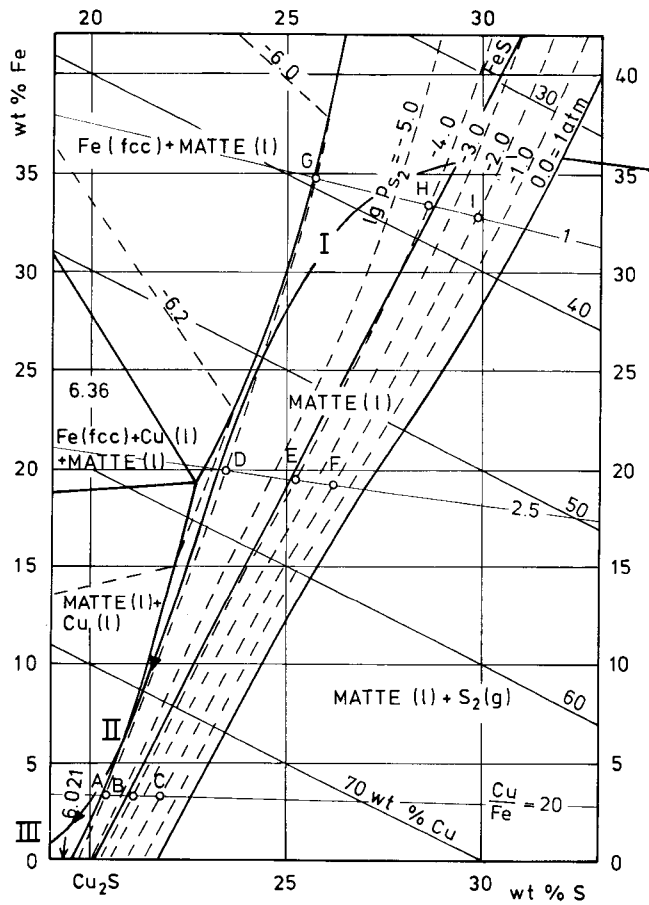
1) Epäpuhtauskomponenttien termodynamiikka happivapaissa (Cu-Fe-S) ja reaalissa (Cu-F-S-O) kuparikivissä. Edellisissä pyritään kuljetusmenetelmään perustuvilla mittauksilla määrittämään eräiden haihtuvien epäpuhtauskomponenttien (Pb, As, Sb, Bi) höyrystyminen ja niistä edelleen aktiivisuuskertoimet sekä niiden riippuvuus kiven makrokoostumuksesta (Cu/Fe-suhde) ja stökiometrisesta koostumuksesta (S/(1/2Cu+Fe)-suhde).

2) Kivi-kuona jakautumiskertoimet ja niiden suuruutta kontrolloivat tekijät (Ni, Co, Mo, As, Sb, Bi).

3) Cu-Me ja Cu-Me-O sulien termodynamiikka, epäpuhtauskomponenttien aktiivisuuskertoimet laimeissa liuoksissa ja Me-O vuorovaikutusparametrit (Me = Co, Ni, Pb, As, Sb, Bi jne.)

4) Kuonautuminen raakakuparista, alhaisten epäpuhtauspitoisuuksien kuonatus hapen osapaineen funktiona synteettisiin kuoniin (Ca-ferriitti-, alkalikarbonaatti-, fosfaatti- ja boraattikuonat).

Edellä lueteltujen kohteiden ohella, jotka voidaan luokitella kuuluvaksi "soveltavan perustutkimuksen" piiriin, tutkitaan myös raakakuparin injektioaffinointia suuremmissa mittakaavassa 50 kg:n induktiouunissa. Näissä tutkimuksissa käytetään luonnollisesti hyväksi laboratoriomittakaavan tasapainotutkimuksen tuloksia.



Kuva 5a ja 5b. Cu-Fe-S systeemin olotilapiirros 1200° C:ssa rikin ($lgps_2$) ja kuparin isoaktiivisuuskäyrineen. Roine /8/.

Fig. 5a and 5b. Phase diagram for the system Cu-Fe-S at 1200°C with isoactivity curves for sulphur ($lgps_2$) and copper.

EPÄPUHTAUDET KUPARIKIVESSÄ

Tavanomaisessa kuparirikasteiden pyrometallurgisessa käsittelyssä valtaosa raaka-aineen epäpuhtauksista haihtuu tai kuonautuu kuparikiven sulatuksen ja konvertoinnin aikana. Näiden prosessien tehostaminen tai sulalle kuparikivelle suoritettu erikoiskäsittely (kaasuhuuhdeltu, vakuumikäsittely, kuonaus synteettisillä kuonilla) tarjoavat mahdollisuuden epäpuhtauksien kvantitatiiviseksi eliminoinniseksi. Epäpuhtautena esiintyvien metallien termodynamiikka sulassa kuparikivessä hallitaan kuitenkin varsin puutteellisesti.

Prosessimetallurgian laboratoriossa tutkitaan eräiden erityyppisten metallien (Ni, Co, Mo, Pb, As, Sb, Bi) termodynamiikkaa sulissa kuparikivissä (edellä esitetyn luettelon kohdat 1 ja 2). Tutkimuksen lähtökohtana on ollut olettaus, että epäpuhtauskomponentin aktiivisuutta kuparikivessä ja niinmuodoin myös kuonautuvuutta (lausekkeet 1' ja 2') sekä haihtuvuutta (lauseke 3') kontrolloi yhtenä tekijänä ao. komponentin vuorovaikutus kiven komponenttien, erityisesti kuparin ja rikin kanssa. Tällöin komponentin aktiivisuuskertoimen suuruuden voidaan olettaa riippuvan kiven stökiometrisesta

Taulukko 1. Eräiden metallien aktiivisuuskertoimet äärettömässä laimennuksessa 1200°C:ssa sulassa kuparissa /10/ ja kuparikivessä /8, 12/, sekä kuona-kivi jakautumiskertoimet 1250°C:ssa /11/.

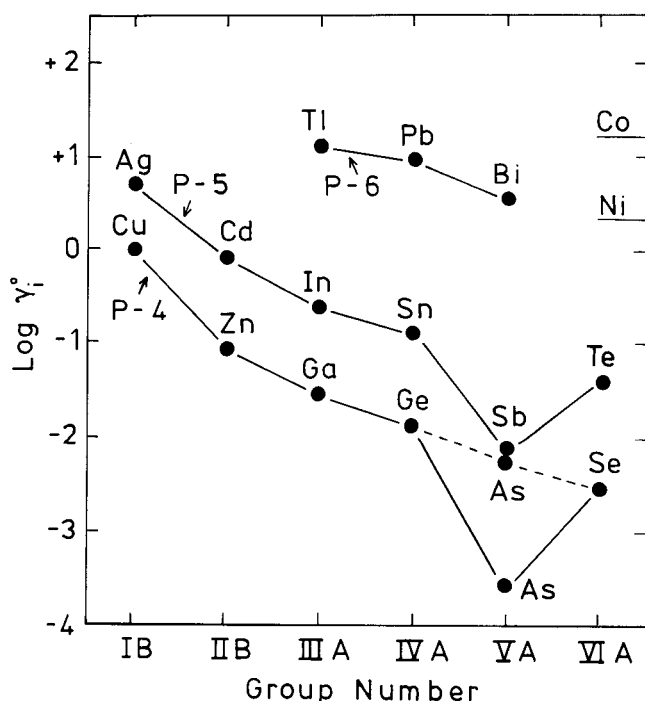
Table 1. Activity coefficients of some impurities at infinite dilution in molten copper /10/ and in copper matte /8, 12/ at 1200°C, and slag-matte distribution coefficients at 1250°C /11/.

Me	γ_{Me}^{Cu}	¹⁾ γ_{Me}^m lgps ₂ /bar -6 -2	²⁾ L s/m Me	³⁾ L s/m Me :n arvoja kontrolloivat muuttujat
Mo	—	— —	2.3 —38	L = f(p _{O₂} /p s ₂)
Co	15	— —	0.18 —1.7	L = —, —
As	0.006	0.3—10	0.002—0.11	lgL = 0.531gp _{O₂} + 0.361gps ₂ + 4.5
Sb	0.013	0.7—45	0.05 —0.7	= 0.271gp _{O₂} + 0.651gps ₂ + 4.1
Bi	2.7	27—13	0.003—0.01	= 0.281gp _{O₂} + 0.141gps ₂ + 0.95
Ni	2.2	— —	0.01 —0.07	= 0.431gp _{O₂} + 2.4
Pb	5.7	27—0.4	— —	— —

¹⁾ happivapaa Cu-Fe-S sula, % Cu = 75 p. %.

²⁾ kuparikivi, Cu-F-S-O- sula % Cu = 36 — 72 %, lgp_{O₂}/bar = —10 — —8, lgps₂/bar = —6 — —3,

³⁾ riippuvuudet etsitty monikomponenttiregressioanalyysillä.



Kuva 6. Eräiden metallien aktiivisuuskertoimet äärettömässä laimennuksessa sulassa kuparissa 1100°C:en lämpötilassa periodisen järjestelmän ryhmänumeron ja periodin mukaisesti ryhmiteltynä. Kuva on piirretty Lynch'in /9/ mukaan (alkujaan Azakami ja Yazawa /10/).

Fig. 6. Activity coefficients of some metals in molten copper at 1100°C at infinite dilution. Redrawn according to Lynch /9/ (originally by Azakami & Yazawa /10/).

koostumuksesta, joka kontrolloi kuparin aktiivisuutta ja siihen käänteisesti suhtautuvaa rikin aktiivisuutta (= $\ln p_{S_2}^{1/2}$), kuvat 5a ja 5b.

Kokeellisia tuloksia

Taulukossa 1 on esitetty kuljetusmenetelmällä suoritettujen aktiivisuusmääritysten alustavia tuloksia (A. Roine /8/, Pönni /12/) sekä tasapainojakautumiskertoimia kuparikivi-rautasilikaattikuona systeemistä (E. Koski-Lammi /11/). Koska tulokset ovat osittain alustavia ne ilmaisevat vain laadullisia, ei määrällisiä eroja eri komponenttien käyttäytymisessä. Tulokset vastaavat hyvin asetettua tutkimushypoteesia ja kuvien 2, 5 ja 6 antamaa laadullista informaatiota eri epäpuhtausmetallien ja kuparin, rikin sekä hapen välisen vuorovaikutuksen intensiivisyydestä.

Tuloksista voidaan tehdä seuraavat johtopäätökset:

1) Mo ja Co kuonautuvat reaktion (2) mukaisesti jakautumiskertoimien ollessa muotoa (2'). Jakautumiskertoimien riippuvuus hapen osapaineesta (Ni, As, Sb, Bi) viittaa siihen, että kuonautuminen tapahtuu lähinnä reaktion (1) mukaisesti, jolloin jakautumiskertoimen lauseke on muotoa (1'). Molybdeenin ja kobolttia lukuunottamatta jakautumiskertoimet ovat hyvin alhaiset eikä Ni:n, As:n, Sb:n ja Bi:n kuonaukseen ole mahdollisuuksia kiven stabiilisuusalueella ainakaan rautasilikaattikuonia käyttäen. Tämä siitä huolimatta, että As:n, Sb:n ja Bi:n aktiivisuuskertoimet ovat kivessä kertaluokkaa, jopa useita, suuremmat kuin kuparisulassa.

2) As:n ja Sb:n aktiivisuus- ja jakautumiskertoimen arvot kasvavat rikin osapaineen mukana (so. kuparin ak-

tiivisuuden aletessa, vrt kuva 5). Tämä on selitettävissä kyseisten metallien muodostamien sulfidien vähäisellä stabiilisuudella ja niiden suurella affiniteetilla kupariin (vrt kuva 6 ja γ_{Me}^{Cu} -arvot taulukossa 1). Lyijyn aktiivisuuskertoimen käyttäytyminen päinvastoin, kuten vähäinen affiniteetti kupariin (kuva 6, taulukko 1) ja suhteellisen stabiili sulfidi (kuva 2) antavat odottaa. Myös vismutin indifferentti käyttäytyminen vastaa sen vähäistä affiniteettia sekä kupariin että rikkiin.

3) Suuret aktiivisuuskertoimien arvot kivessä kuparisulaan verrattuna merkitsevät sitä, että As, Sb ja Bi on pyrittävä haihduttamaan nimenomaan kuparikivestä. As:n ja Sb:n haihtumista voidaan tehostaa rikittämällä, jolloin kuparin aktiivisuus laskee ja rikin aktiivisuus nousee.

4) Tulokset vastaavat kvalitatiivisesti esitettyjä kuonautumismalleja sekä esitettyä hypoteesia siitä, että epäpuhtausmetallien käyttäytyminen kivessä on johdettavissa niiden muodostamien sulfidien ja kupariliuosten stabiilisuudesta (γ_{Me}^{Cu} arvot). Tämä antaa mahdollisuuden arvioida kvalitatiivisesti myös sellaisten epäpuhtauskomponenttien käyttäytymistä, joille ei ole käytettävissä kokeellisia tuloksia kuparikivistä.

KIRJALLISUUS — REFERENCES

1. Barin, I. & Knacke, O., Thermochemical properties of inorganic substances, Springer-Verlag, Berlin 1973.
2. Judin, V-P., Epäorgaanisten sulfidien stabiilisuus korkeissa lämpötiloissa. Report TTK-V-C3, Espoo 1978.
3. Samsonov, G. V., Fiziko-himičeskie svoistva okislov. Metallurgiya, Moskva 1978.
4. JANAF Thermochemical Tables, 2nd edition, Nat. Bur. St., New York 1971.
5. Novoselova, A. V. & Pašinkin, A. G., Davlenie para letučih hal'kogenidov metallov, Nauka, Moskva 1978.
6. Kazenas, E. K. & Čižikov, D. M., Davlenie para nad okislami himičeskyh elementov, Nauka, Moskva 1976.
7. Jalkanen, H., Epäpuhtauksien käyttäytyminen metallurgisissa prosesseissa, 57—87, (Vartiainen A., toim.) Report TTK-V-C14, Espoo 1980.
8. Roine, A., Julkaisemattomia tuloksia.
9. Lynch, D. C., Met. Trans. 11B (1980), 623—629.
10. Azakami, T., Yazawa, A., Can. Met. Quart 15 (1976), 111—122.
11. Koski-Lammi E., Diplomityö, Espoo 1981.
12. Pönni, H., Diplomityö, Espoo 1982.

SUMMARY

BEHAVIOUR OF IMPURITIES IN PYROMETALLURGY OF COPPER

Thermodynamics of slagging and evaporation of impurities during the processing of sulphidic copper concentrates as well research on this field carried out in the Institution of Process Metallurgy, HUT have been shortly discussed.

Results of activity measurements (by transport method) for some volatile impurities (Pb, As, Sb and Bi) in the system Cu-Fe-S, and matte-slag distribution coefficients for Ni, Co, Mo, As, Sb and Bi have been presented. Activity and distribution coefficients of Pb, As, Sb and Bi in matte were observed to be several times or even orders of magnitude greater than those in molten copper and dependent on sulphur and copper activities in matte (on the stoichiometric composition of matte). This behaviour followed the order of intensity of interaction of impurity metals with copper (= activity coefficient in molten copper at infinity dilution) and sulphur (stability of the most stable sulphide).

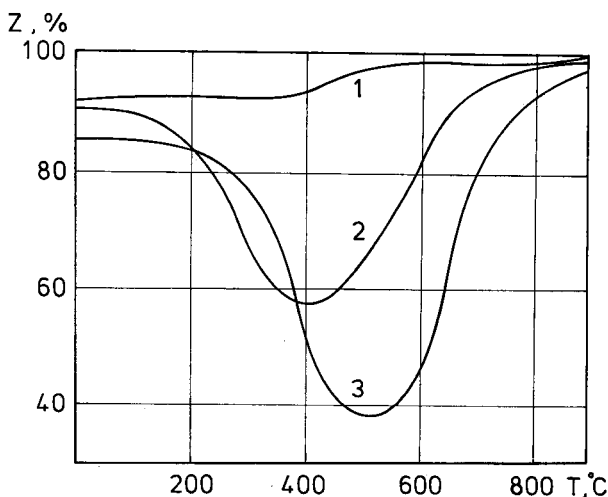
Epäpuhtaudet ja haurausilmiöt kuparissa

Dipl.ins. Kaj Österlund, Teknillinen korkeakoulu, Metallopin laboratorio, Otaniemi

Esitelmä pidetty Metallurgijaoston syyskokouksessa 30. 10. 1981

Kuparia pidetään sitkeänä metallina sekä kylmässä että kuumassa tilassa. Kuitenkin on havaittu, että kupari murtuu hauraasti tietyissä olosuhteissa; esimerkiksi tietyllä lämpötilavälillä kuumavedossa. Hauraan käyttäytymisen syyksi on esitetty kuparissa esiintyvät pienet epäpuhtausmäärät ja esitetäänkin /1/, että kokeellisesti täysin puhdas kupari ei kärsi sitkeyden menetyksistä. Valmistusmenetelmän ja sitä kautta puhtausasteen vaikutus kuparin kuumasitkeyteen ilmenee yhteenvedonomaaisesti kuvasta 1.

Haurauden aiheuttavilla epäpuhtauksilla on yleensä hyvin pieni liukoisuus kupariin, jolloin jo pienet epäpuhtauspitoisuudet (luokkaa 1...10 ppm) riittävät aikaansaamaan haurauden. Pienestä liukoisuudesta johtuen pyrkivät epäpuhtaudet voimakkaasti rikastumaan raerajoille muodostaen siellä joko erkauman, ohuen matalalla sulavan kalvomaisen faasin tai joitakin atomikerroksia paksun suotautumana. Nämä rikastumat muuttavat raerajan ominaisuuksia siten, että murtuma muuttuu sitkeästä rakeiden läpi etenevästä murtumasta hauraaksi raerajamurtumaksi.



Kuva 1. Sulatusprosessin vaikutus kuparin kuroumaan (Z) lämpötilan (T) funktiona /2/.

1 — vyöhykesulatus
2 — vakuumi-induktiouuni
3 — induktiouuni, grafiitti-peite.

Fig. 1. The effect of melting method on hot shortness of copper

1 — zone refining
2 — vacuum induction furnace
3 — open induction furnace, under a layer of coal.

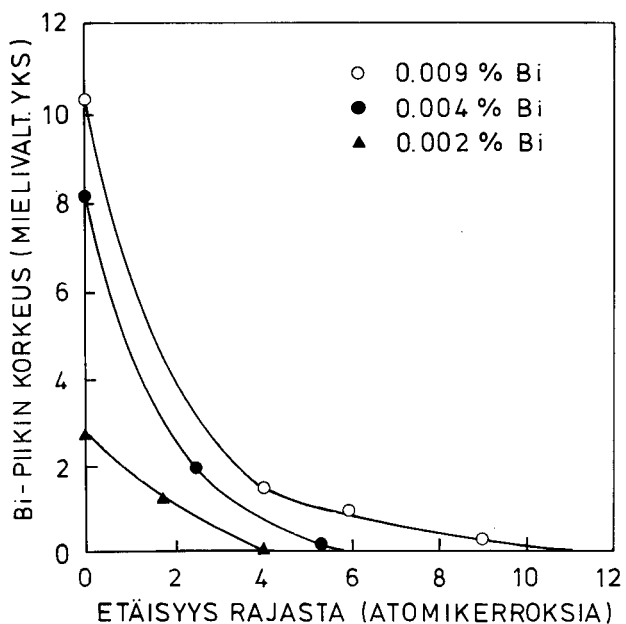
HAURAUTTA AIHEUTTAVIA EPÄPUHTAUKSIA

Seuraavaksi tarkastellaan kirjallisuuden pohjalta eräitä haurautta aiheuttavia epäpuhtauksia, niiden vaikutustapoja ja tarvittavia epäpuhtausmääriä sekä eräitä mahdollisia haurauden estämistapoja.

Vismutti

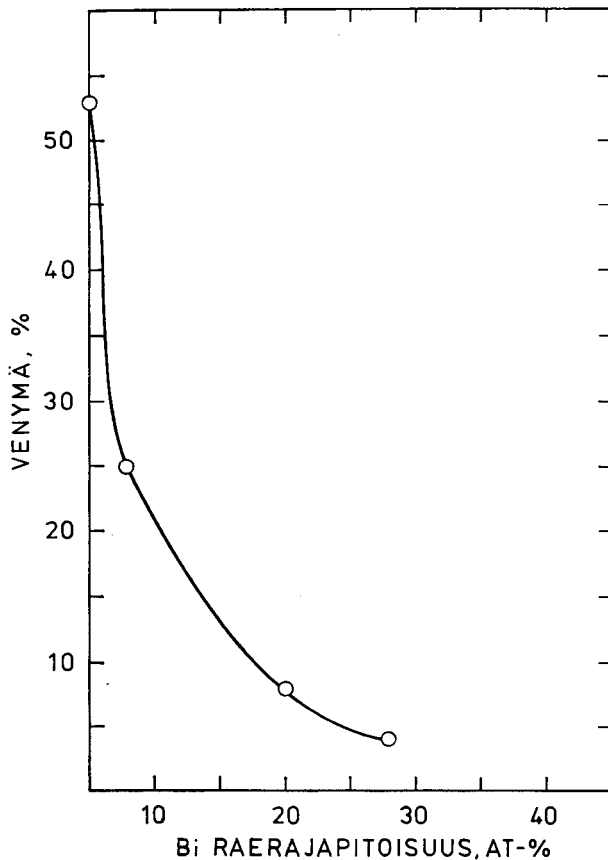
Tunnetuimpana kuparissa haurautta aiheuttavana epäpuhtautena pidetään vismuttia, joka voimakkaasti suotauneena, kuva 2, haurastaa kuparin pienilläkin pitoisuuksilla jo täysin, kuva 3 /3/. Kuumavalssauksen yhteydessä katsotaan että vismuttipitoisuus 0.005 % on riittävä aikaansaamaan kuumahaurautta /4/. Jotta vismutin haitallinen vaikutus mekaanisiin ominaisuuksiin voitaisiin kokonaan estää, tulisi sen pitoisuuden olla alle 0,6 ppm /5/.

Vaihtoehtoisena keinona vismutin haitallisten vaikutusten vähentämiseksi voidaan käyttää pientä raudan lisäystä kupariin, joka pienentää vismutin vaikutusta merkittävästi /6/. Raudan käyttöä esim. OFHC-kupareissa rajoittaa kuitenkin sen epäedullinen vaikutus sähköjohtavuuteen. Edelleen haitallisuutta pienentävät myös



Kuva 2. Vismutin suotautuminen raerajan läheisyydessä /3/.

Fig. 2. Segregation of Bi with distance from intergranular fracture surface.



Kuva 3. Yhteys raerajalla olevan Bi-pitoisuuden ja haurauden välillä /3/.

Fig. 3. Relation of Bi content in the grain boundaries to embrittlement.

eräät epäpuhtaudet, kuten Se ja As, jotka muodostavat vismutin kanssa korkealla sulavia yhdisteitä /7/.

Telluuri

Telluurin raerajasuotautumista kuparissa on tutkittu mm. Auger-analyysillä /8/. Tällöin hehkutettaessa telluuri-pitoista kuparia eri aikoja lämpötilassa 540 °C havaittiin raerajojen telluuripitoisuuksien ensin kasvavan maksimiin laskeakseen sen jälkeen lähelle alkuperäistä pitoisuutta; laskun havaittiin johtuvan erkautumisesta. Nämä muutokset näkyivät myös sitkeydessä huoneen lämpötilassa siten, että sitkeys huononi kun pitoaika lämpötilassa 540 °C kasvoi, kun taas erkautumisen alkaessa sitkeys jälleen parani. Edellä kuvatun käyttäytymisen perusteella telluurin aikaansaama haurastuminen esitetään johtuvan suotautumisesta eikä sen sijaan erkautumisesta.

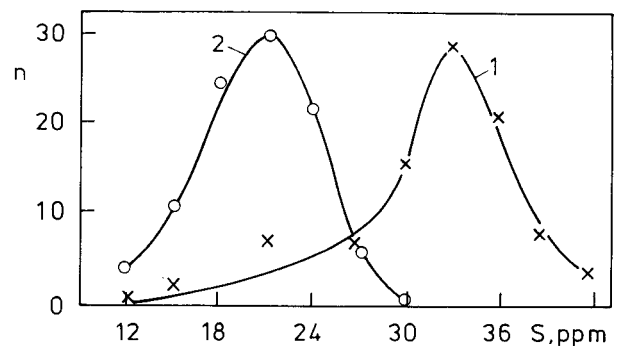
Telluurin kohdalla "varmuusrajana" haurastumista vastaan pidetään pitoisuuksia alle yksi ppm /5/ sen perusteella, että kuparissa, joka sisältää noin 0,02 % happea, on 1 ppm Te riittävä aikaansaamaan reunahalkeilua valsaussessa /7/.

Rikki

Kuparin jatkuvavalussa on havaittu, että rikkipitoisuus vaikuttaa voimakkaasti valutuotteen halkeilutaipumukseen /9/, kuva 4; kun pitoisuus on alle 0,0012 % S, halkeilutaipumus häviää lähes kokonaan. Rikin vaikutus näkyy vielä selvemmin, kun seurataan halkeilua happipitoisuuden funktiona, kuva 5. Tällöin havaitaan, että rikkipitoisuudella yli 0,0015 % halkeilutaipumus seitsenkertaistuu, kun happipitoisuus kasvaa arvosta 2 ppm arvoon 8 ppm. Sen sijaan, kun rikkipitoisuus on alle 0,0015 %, ei happipitoisuuden nosto kasvata jo ennestäänkin pientä halkeilutaipumusta.

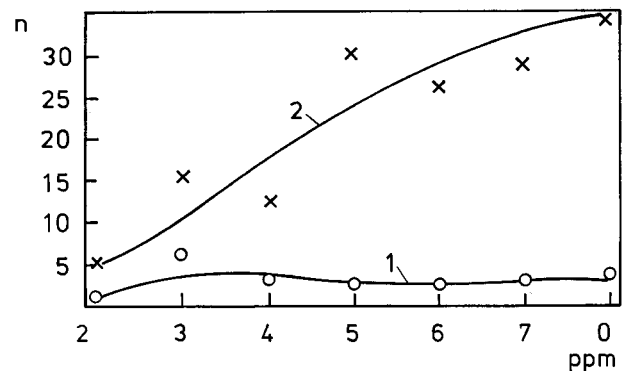
Hapettoman kuparin jatkuvavalussa esiintyvien halkeamien katsotaan johtuvan sulfidieutektikumista /10/. Rikki ja muut epäpuhtaudet rikastuvat loppusulaan epätasapainojähmettymisen yhteydessä, jolloin kasvavien kiteiden väliin voi syntyä sulfidieutektikumia jähmettymisen loppuvaiheessa. Sulfidin muodostumistaipumus riippuu paitsi sulan rikkipitoisuudesta niin myös sulfidimuodostajien, kuten Zn, Sb ja As, pitoisuuksista.

Rikin vaikutusta valetun kuparin mekaanisiin ominai-



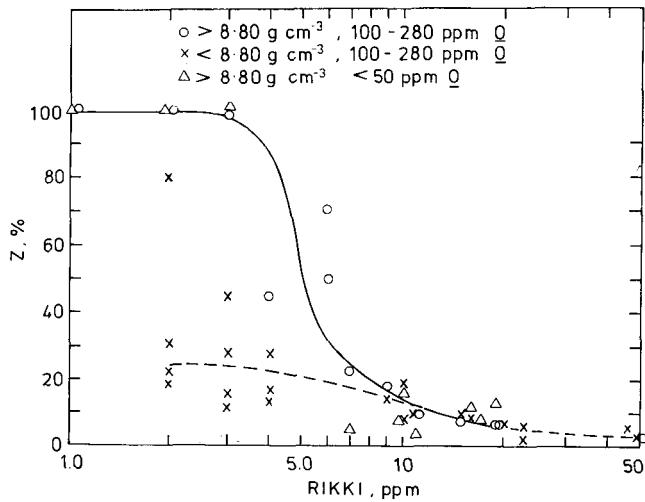
Kuva 4. Rikin jakautuminen valutuotteissa, joissa on havaittu (1) ja ei havaittu (2) halkeamia /9/.

Fig. 4. Sulfur concentration distribution curves for ingots with cracks (1) and without cracks (2).



Kuva 5. Happipitoisuuden vaikutus halkeilutaipumukseen valutuotteissa, joissa rikkipitoisuus on alle 14 ppm (1) tai välillä 15...35 ppm (2) /9/.

Fig. 5. The effect of oxygen content on crack formation in ingots with < 14 ppm S (1) and 15...35 ppm S (2).



Kuva 6. Rikkipitoisuuden vaikutus valetun kuparin mekaanisiin ominaisuuksiin (kurouma) lämpötilassa 950°C /11/.

Fig. 6. The effect of sulfur on reduction of area of copper at 950°C.

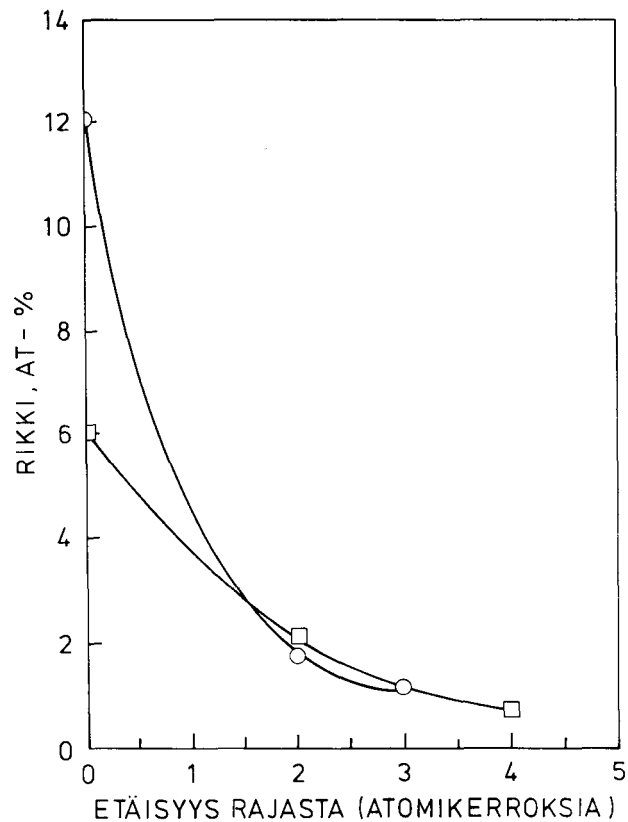
suuksiin lämpötilassa 950 °C on esitetty kuvassa 6 /11/. Kun kyseessä on tiivis valu (tiheys yli 8,80 gcm⁻³), riittää rikkimäärä 4 ppm pienentämään kuroumaa merkittävästi; rikkimäärän noustessa yli 4 ppm, laskee kurouman arvo nopeasti alle 10%. Sen sijaan, kun rikkipitoisuus on luokkaa alle 3 ppm, säilyy kurouma arvossa 100%.

Edellä referoidun tutkimuksen /11/ lisäksi on myös eräissä muissa tutkimuksissa /12, 13/ havaittu kuparin kuumahaurauden johtuvan rikistä, jonka katsotaan olevan peräisin raaka-aineesta ja elektrolyysistä; lisäksi rikkiä voi olla peräisin kontaminaatiosta, kun kuparikatodeja säilytetään ilmassa. Kuumahauraus voidaan — ainakin osittain — poistaa vakumisulatuksella tai seostamalla esim. kalsiumia tai ceriumia, jotka muodostavat korkealla sulavia yhdisteitä rikin kanssa. Tämäntyyppinen mikroseostus on kuitenkin käytännössä mm. analyysin osumistarkkuuden kannalta hankala suorittaa, jolloin mahdollinen ylimääräseostus pienentää kuparin sähköjohtokykyä ja nostaa pehmenemislämpötilaa; toisaalta liian pieni seostus ei tuo mukanaan toivottua vaikutusta.

Kylmämuokkauksen aikana on havaittu, että kaupallinen hapeton kupari voi murtua raerajoja pitkin /14/. Ilmiöön liittyvästä murtopinta-analyysistä, kuva 7, voidaan havaita, että rikki on voimakkaasti suotautunut raerajoille. Koska rikki korvausatomina diffundoituu hitaasti, ei näinollen havaittu rikin raerajasuotautuminen voi olla tasapainon mukaista — tähän teollisuudessa käytetyt välihekkutusajat ovat liian lyhyitä — vaan kiinteässä tilassa tapahtuneen suotautumisen sijaan se on jääne jähmettymisen yhteydessä tapahtuneesta suotautumisesta.

HEHKUTUSHAURAUUS

Seuraavassa tarkastellaan yhtä kuparin haurausilmiöistä, nk. hekkutushaurautta, joka ilmenee, kun lievästi kylmämuokattua kuparia hekkutetaan tietyllä lämpötilavälillä. ”Vanhojen” rakeiden rajoille muodostuu tällöin huokosjonoja ja lieviä repeämiä, jotka saattavat aiheuttaa vaikeuksia tuotteen tuotannollisessa jatkokäsittelyssä. Haurastumisen syyksi on esitetty raerajoille erkautuvan vedyn ja jäännösjännitysten yhteisvaikutusta; lisäksi haurastumisen on todettu olevan sitä voimakkaampaa mitä suurempi on raekoko /15, 16/. Käytännössä ongelma voi-



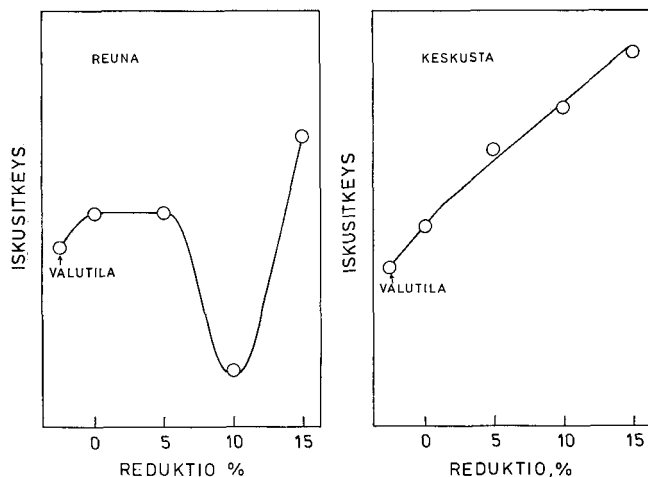
Kuva 7. Hauraan OFHC-kuparin murtopinnalla havaittu rikin rikastuminen /14/.

Fig. 7. Depth profile of sulfur away from fracture surface of OFHC-copper.

daan välttää muokkaamalla tuotetta riittävästi (> 40%) ennen välihekkutusta, jolloin haurastumista ei esiinny hekkutuksessa tällöin tapahtuvan nopean rekristallisaation ansiosta.

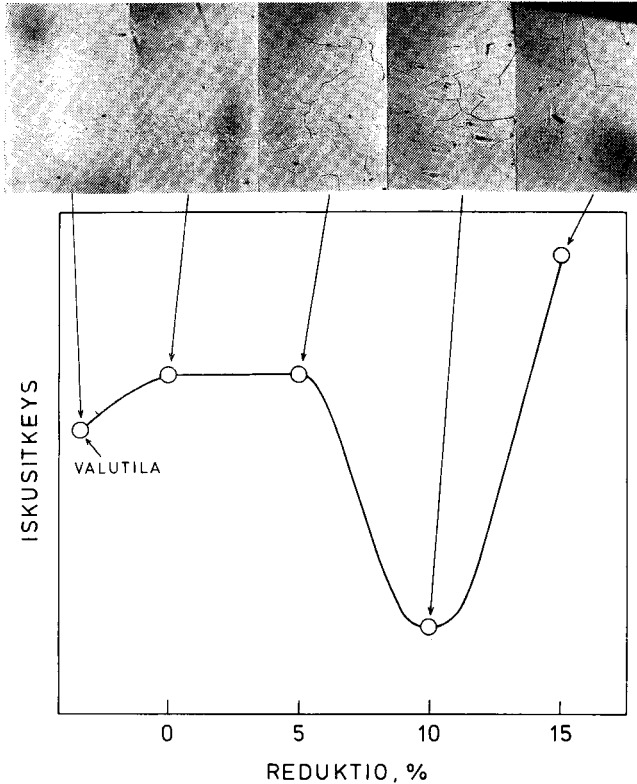
Seuraavassa esitettävät tulokset liittyvät tutkimukseen, jossa on selvitetty hekkutushaurauden syntyyn vaikuttavia tekijöitä. Tutkimusmateriaalina on käytetty ylöspäin valettua hapetonta kuparilankaa.

Tutkitavan materiaalin hekkutushaurastaipumusta havainnollistaa kuva 8, jonka mukaan ainoastaan valu-



Kuva 8. Hekkutusta edeltäneen reduktion vaikutus ylöspäin valetun kuparilangan pinnan ja sisustan sitkeyteen. Hekkutus 450°C/30 min.

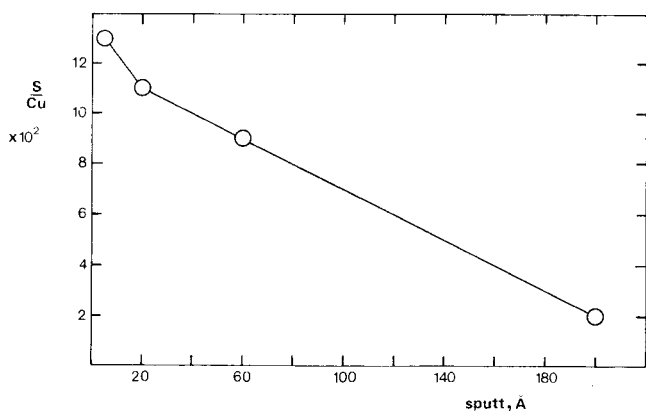
Fig. 8. The effect of reduction before annealing on ductility of upward cast copper wire. Annealing at 450°C for 30 min.



Kuva 9. Hehkutusta edeltäneen muokkauksasteen vaikutus valulangan pintaosan rakenteeseen. Näytteet ovat kiillotetussa tilassa.

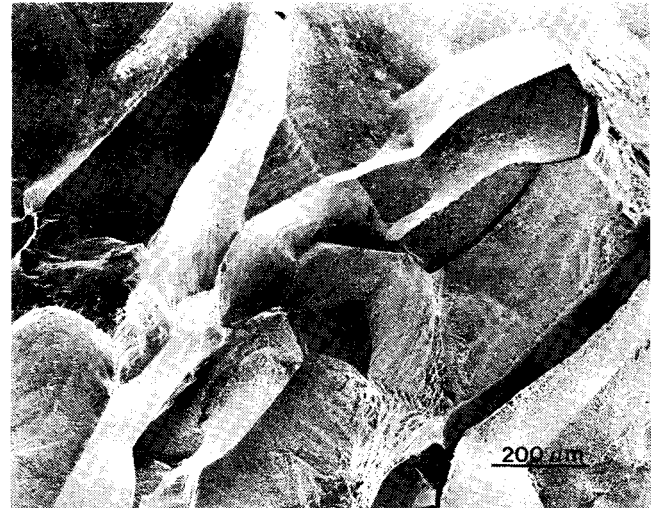
Fig. 9. The effect of reduction before annealing on the structure of the surface parts of the wire.

langan pintaosa haurastuu 10%:n reduktion jälkeen; sen sijaan sisustan sitkeys kasvaa reduktion lisääntyessä. Koska deformaatio langanvedossa näin pienillä reduktioilla keskittyy pintaosiin, voidaan muokkauksen katsoa olevan välttämätön edellytys haurastumiselle. Hehkutusta edeltäneen muokkauksen vaikutus rakenteeseen selviää kuvasta 9, jossa näytteet ovat kiillotetussa tilassa. Kuvasta käy selvästi ilmi, että sellaisella deformaatio-hehcutuslämpötila-yhdistelmällä, jolla raerajat pyrkivät voi-



Kuva 10. Hauraamman näytteen (10%:n reduktio + hehcutus 450°C/30 min) murtopinnan läheisyydessä havaittu rikin jakautumisprofiili. S/Cu tarkoittaa rikin ja kuparin piikinkorkeuksien suhdetta.

Fig. 10. Segregation profile of sulfur at the fracture surface of the most brittle sample.



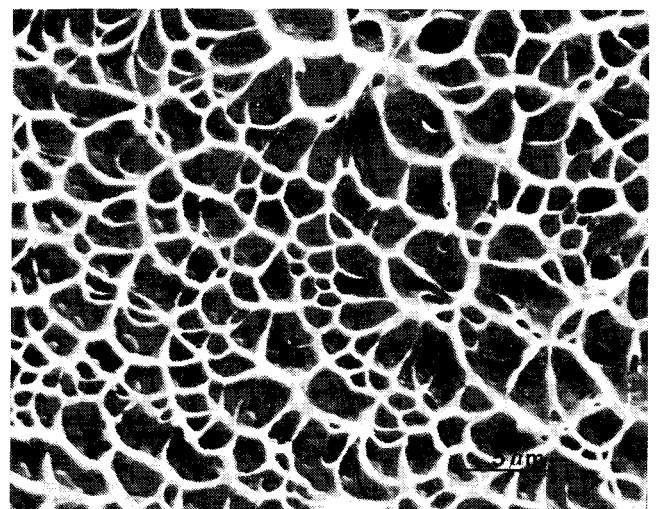
Kuva 11. Hauraamman näytteen makroskooppisesti hauras raerajamurtuma.

Fig. 11. Macroscopically brittle grain boundary fracture of the most brittle sample.

makkaasti "aukeamaan", saavuttaa sitkeys miniminsä. Sitkeyden kasvu suuremmilla reduktioilla johtuu rekrystallisaatiosta, jolloin huokosjonot jäävät rakeiden sisään eivätkä vaikuta yhtä voimakkaasti sitkeyteen.

Hauraimman näytteen (10% reduktio + hehcutus 450°C/30 min) murtopinnasta tehty Auger-analyysi osoittaa, että rikki on suotautunut murtopinnalle, kuva 10 (näytteen rikkipitoisuus 13 ppm). Tämän perusteella suurimpana epäpuhtauskomponenttina esiintyvän rikin läsnäoloa raerajoilla voidaan pitää merkittävänä haurastumista aiheuttavana tekijänä.

Näytteestä tehdyt murtopintahavainnot osoittavat, että murtuma on makroskooppisesti hauras raerajamurtuma, kuva 11. Raerajapintoja lähemmin tarkasteltaessa havaitaan, että murtuma on kuitenkin mikroskooppisesti sitkeä, dimplemäinen. Edelleen, tarkasteltaessa erillisiä dimplejä tarkemmin, voidaan lähes kunkin dimplen pohjalla havaita sulkeuma, kuva 12. Edellä mainitun Auger-analyysin, kuva 10, perusteella voidaan päätellä, että sulkeumat ovat sulfideja, jotka ovat ilmeisesti muodostu-



Kuva 12. Erillisten dimpleiden sisältämiä sulkeumia.

Fig. 12. Dimples containing inclusions.

neet jo jähmettymisen yhteydessä, koska rikin hyvin pienestä jakautumiskertoimesta johtuen rikki pyrkii voimakkaasti rikastumaan loppusulaan.

Haurastumisen kannalta katsoen sulkeumat eivät kuitenkaan vielä itsessään riitä aiheuttamaan haurautta, koska valutila eikä myöskään hehkutettu valutuote ole hauras. Alustavien tutkimuksien perusteella voidaan deformaation katsoa vaikuttavan siihen, että dislokaatiot kuljettavat mukanaan raerajoille jonkun toisen epäpuhtauskomponentin ja/tai luovat sille sopivan diffuusiopulun. Kyseeseen tulee tässä yhteydessä lähinnä vety, jonka pitoisuuden on havaittu /16/ vaikuttavan hehkutushaurauden voimakkuuteen; selvityksestä käy lisäksi ilmi, että riippuvuus vetypitoisuudesta ei yksin riitä selittämään hehkutushaurauden syytä.

Kun lisäksi vedyn tiedetään heikentävän sulkeuma/matriisi -rajapintaa ja stabiloivan siellä mahdollisesti syntyneet mikro-onkalot /17/, voivat raerajoilla sijaitsevat sulkeumat toimia "reikinä", jolloin murtuminen tapahtuu helposti "reikien" välisten kannasten poikkikuroutumisenä.

Edellä kuvatut tulokset sekä lisäksi työhön liittyvät vielä julkaisemattomat tutkimukset tukevat kuparin hehkutushaurauden oletettua syytä, joka perustuu valussa raerajoille syntyneiden rikkiperäisten sulkeumien ja vedyn yhteisvaikutukseen.

YHTEENVETO

Vaikka kupari yleensä on varsin sitkeä metalli, haurastuttavat eräät epäpuhtaudet sitä jo pienilläkin pitoisuuksilla voimakkaasti. Edellä suoritettussa katsauksessa on ensin kirjallisuushavaintojen perusteella tarkasteltu eräiden epäpuhtauksien (Bi, Te ja S) vaikutusta kuparin mekaanisiin ominaisuuksiin sekä kuumassa että kylmässä tilassa. Sen jälkeen on toiseksi tarkasteltu kokeellisten tutkimustulosten perusteella erästä kuparissa esiintyvää haurausilmiötä, nk. hehkutushaurautta. Tulosten perusteella on ilmeistä, että haurauden aiheuttaa kahden epäpuhtauden, rikin ja vedyn, yhteisrikastuminen raerajoille, jolloin murtuma muuttuu sitkeästä rakeiden läpi etenevästä murtumasta hauraaksi raerajamurtumaksi.

SUMMARY

IMPURITIES AND EMBRITTLEMENT OF COPPER

Although copper is usually a quite ductile material it has been found that some impurities may cause the embrittlement of it. In this overview, first the unbeneficial effects of three different impurities (Bi, Te and S) in copper have been reviewed. Secondly, the so-called annealing embrittlement of copper was considered. According to the experimental results it appears to be evident that the annealing embrittlement is caused by co-operative grain boundary enrichment of sulfur and hydrogen.

KIRJALLISUUS — REFERENCES

1. Bobylev A. A., Sov. J. Non-Ferrous Met., 13 (1972) no 8, 73.
2. Kotova I. S. et al., Sov. J. Non-Ferrous Met., 15 (1974) no 4, 62.
3. Joshi A., Stein D. F., J. Inst. Met., 99 (1971) 178.
4. Dies K., Kupfer und Kupferlegierungen in der Technik, 1967.
5. Rühle M., Metall, 30 (1976) 416.
6. Johnson W. C., Joshi A., Stein D. F., Met. Trans. 7A (1976) 949.
7. Carlsson R., Scan. J. Metall., 9 (1980) 25.
8. Marcus H. L., Paton N. E., Met. Trans. 5 (1974) 2135.
9. Fridman L. P. et al., Sov. J. Non-Ferrous Met., 17 (1976) no 2, 78.

10. Karmanchuck V. I. et al, Tsvetn. Met., no 6(1979) 58.
11. Myers M., Blythe E. A., Met. Techn. 8 (1981) 165.
12. Bobylev A. V., East European Met. Rev. 4 (1972) 79.
13. Bobylev A. V., Russ. Metall., no 4 (1972) 133.
14. Clough S. P., Stein D. F., Scr. Met., 9 (1975) 1163.
15. Pynnä A., Outokumpu Oy, Porin tehtaat, tutkimuslausunto A 346.
16. Heimonen L., Outokumpu Oy, Porin tehtaat, tutkimuslausunto A 607.
17. Tien J. K. et al., Met. Trans. 7A (1976) 821.

s. 26 →

REFERENCES — KIRJALLISUUS

1. R. L. Stubb s, "Consumption and supply of Lead Zinc and Cadmium in the 80s", paper presented at the International Seminar Lead Zinc & Cadmium: Retrospect and Prospect organized by Indian Lead Zinc Information Centre in New Delhi (Nov 1981), pp. 1—3.
2. C. R. Haywood, "An outline of metallurgical practice" New York, D. Van Nostrand Co., 1955.
3. W. Schwartz, Metallgesellschaft Review of Activities (Frankfurt am Main), 20 (1977) p. 46.
4. H. Warner et al., "QSL — a continuous process for environmentally clean lead production", Lead Zinc-Tin '80, a publication of the Metallurgical Society of AIME, p. 394.
5. E. Muller, Erzmetall 29 (1976), pp. 322—327.
6. K. B. Chaudhary et al., CIM Bull., 71 (799) (1978), pp. 126—130.
7. "Information on Lead Flash Smelter based on Outokumpu Lead Flash Smelting Process", bulletin published by Outokumpu Oy, Engineering Div., Espoo, January 1982, pp. 1—2.
8. C. A. Aranda et al. "Electrolytic lead refining as practised by the Cerro de Pasco Corp. at La Oroya, Peru", Lead and Zinc Vol 11, New York, Am. Inst. Min. Metall. and Pet. Engrs., 1970, pp. 891—915.
9. M. M. Wong et al., "Ferric chloride leach-electrolysis: process for production of lead", Lead Zinc-Tin '80, p. 446.
10. J. E. Murphy, et al., "Recovery of lead from galena by a leach-electrolysis procedure", Bu Mines RI 7913 (1974), p. 8.
11. F. P. Haver et al., "Ferric chloride leaching of galena concentrate", Bu Mines RI 8105 (1976), p. 18.
12. F. P. Haver et al., "Recovery of lead from lead chloride by fused-salt electrolysis", Bu Mines RI 8166 (1976), p. 18.
13. M. C. S. Gardiner, "Secondary lead smelters and clean technology", paper presented at Battery Council International Annual Convention, San Francisco, (May 1981), p. 5.
14. "Lead recovery from scrap electric batteries: Ginatta-Snamprogetti Process", bulletin published by Snamprogetti S.P.A., Rome, Italy pp. 1—6.
15. H. R. Jones, "Pollution control in the nonferrous metals industry", 1972, Pollution Control Review No 13, pp. 142—165.
16. H. Michaelis et al., "Impact on higher environmental standards", panel discussion at Lead Technology in the 80s, sponsored by the Lead and Zinc Development Association, London, p. 32.
17. R. H. Harrison et al., "Lead pollution — causes and control", p. 134.
18. M. J. McKiernan et al., "Medical surveillance of work force", seminar report: Control of lead at works, organized by Lead Development Association, London (March/May 1981), pp. 16—17.
19. "US environment protection agency (1977), Air quality criteria for lead", EPA, Rep. EPA-600/8-77-017.
20. "Lead an You", leaflet published by Health and Safety Executive, 403—405 Edgware Road, Criklewood, London.

Epäpuhtauksien vaikutus terästen murtumiskäyttäytymiseen

Dipl.ins. Mauri Veistinen, Teknillinen korkeakoulu, Metalliopin laboratorio, Otaniemi

Esitelmä pidetty Metallurgijaoston syyskokouksessa 30. 10. 1981

JOHDANTO

Epäpuhtauksien haitallinen vaikutus metallien eri ominaisuuksiin oli tunnettua jo 1800-luvulla. Systemaattisesti epäpuhtauksia ja niiden vaikutuksia on kuitenkin voitu tutkia vasta aivan viime vuosina, kun sopivat tutkimusvälineet (esim. Auger ja Esca) sekä epäpuhtauksien suotautumista kuvaavat termodynaamiset mallit kehittyivät. Tutkimusresurssien lisäksi epäpuhtaututkimuksen nykyiseen laajuuteen on muitakin syitä. Ensinnäkin teräksiä käytetään nykyään varsin erilaisissa käyttökohteissa, joissa epäpuhtaudet yhdessä ulkoisten olosuhteiden kanssa heikentävät niiden suorituskykyä. Lisäksi on taloudellista — ja tulevaisuudessa raaka-aineiden vähentäessä myös välttämätöntä — käyttää yhä enemmän romua ja epäpuhtaita malmeja terästen raaka-aineena; tämän haittapuolena on valitettavasti terästen epäpuhtauspitoisuuksien lisääntyminen.

Teräksissä olevat epäpuhtaudet voivat olla stabiilissa tilassaan metallisia, epämetallisia tai kaasumaisia. Tässä yhteydessä epäpuhtauksiksi luokitellaan alkuaineet, joita ei ole teräkseen tarkoituksella seostettu. Tällaisia aineita ovat tyypillisesti useat alkuainetaulukon sivuryhmän IV—VI alkuaineet ja lisäksi lyijy ja kupari sekä kaasuisuista liuennut vety ja happi, taulukko 1.

Taulukko 1. Teräksissä yleisesti esiintyviä epäpuhtauksia.

Table 1. Impurities being common in steels.

IV	V	VI
Si (Ge) Sn Sn	N P As Sb Bi	S Se Te
Sekä H, O, Pb ja Cu		

Epäpuhtauksien jakautuminen teräksissä ja tasapainosuotautumisen termodynamiikkaa

Epäpuhtaudet heikentävät useassa eri tilassa teräksen ominaisuuksia. Paitsi atomaarisena, epäpuhtauksia on teräksissä sitoutuneena sulkeumiksi, joista sulfidit, siliikaatit ja oksidit ovat tyypillisiä esimerkkejä. Sulkeumat ovat normaalisti matriisissa, jossa teräkselle tehdyt lämpö- ja muokauskäsittelyt määräävät niiden koon, muodon ja jakauman. Kuitenkin, esimerkiksi liian korkeassa austenitointilämpötilassa, ne voivat liueta ja lämpötilan laskiessa erkautua uudelleen perinnäisen austeniitin raerajoille.

Epäpuhtauksia on yleensä myös suotautuneena raja-

pinnoilla. Suotautumista tapahtuu paitsi jähmettymisen yhteydessä (epätasapainosuotautuminen) niin myös lämpökäsittelyn ja käytön yhteydessä (epätasapaino- ja tasapainosuotautuminen). Epätasapainosuotautuminen on jähmettymisen yhteydessä jakautumiskertoimesta ja kinetiikasta sekä sammutuksessa vakanssivuosta johdettava suotautumista, jonka lopussa systeemi ei ole tasapainotilassa, niin kuin se sitä vastoin on tasapainosuotautumisessa, jossa seosaineiden ja epäpuhtauksien luonnollinen jakautuminen johtuu niiden aktiivisuuserosta matriisissa ja rajapinnalla.

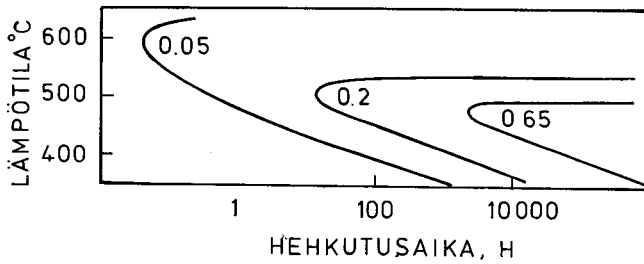
Suotautumista tapahtuu kaikille teräksen rajapinnoille: perinnäisen austeniitin raerajojen lisäksi mm. ferriitirajoille, sälepaketti- ja sälerajoille sekä erkauma (sulkeuma)/matriisi-rajoille. Suotautumisasteen määrää suotautuvan epäpuhtauden ja seosaineiden lisäksi rajapinnan luonne, jonka vaikutusta voidaan tutkia mm. raerajan polyedrimallin avulla. Näin ollen suotautumisaste vaihtelee eri rajoilla — myös samantyyppisillä mutta erilaisen rakenteen omaavilla rajoilla. Seuraavassa tarkastellaan tarkemmin tasapainonmukaista suotautumista ja sen termodynamiikkaa, jonka avulla voidaan ymmärtää useiden terästen haurausilmiöiden luonnetta paremmin.

Epäpuhtausatomit pyrkivät suotautumaan rajapinnoille, jos niiden kemiallinen potentiaali on aluksi rajapinnalla pienempi kuin matriisissa. Suotautumista, jota tapahtuu yhtä lailla teräksen austenitoinnissa kuin pääsääntöisesti, voidaan kuvata yhtälöllä:

$$(1) \quad x_I^{\Phi} (1-x_I^{\Phi}) = x_I^B \exp(\Delta G_I^{\Phi} / RT)$$

jossa x_I^{Φ} on epäpuhtauspitoisuus rajapinnalla, x_I^B on epäpuhtauspitoisuus matriisissa, ΔG_I^{Φ} on suotautumisen ajava voima, R on kaasuvakio ja T on absoluuttinen lämpötila $^{\circ}K$. Yhtälöstä (1) nähdään, että suotautuminen pienenee lämpötilan kasvaessa ja matriisin epäpuhtauspitoisuuden pienetessä.

Koska tiettyjen epäpuhtausatomien esim. P ja S, liukoisuus austeniittiin on kuitenkin huomattavasti pienempi kuin ferriittiin ($\Delta G_I^{\Phi} > \Delta G_I^{\alpha}$), näiden epäpuhtausatomien oletetaan korkeasta lämpötilasta huolimatta suotautuvan myös austeniittialueella, jossa raerajan suotautumisaste kasvaa lämpötilan laskiessa siitäkkin huolimatta, että perinnäisen austeniitin raekoko samalla pienenee. Teräksen austenitoinnissa tapahtuvan suotautumisen on esitetty aiheuttavan mm. sammutetun tilan haurauden ja olevan välttämätön osatekijä nk. alemmassa päästöhauraudessa, joissa kummassakin esiintyvä haurasmurtuma etenee perinnäisen austeniitin raerajoja pitkin.



Kuva 1. Fosforin suotautuminen teräksen SAE 3140 päästöissä. Käyrien luvut ilmoittavat suotautumisasteen murto-osana raeraja-atomipitoisuudesta (viitteen /2/ mukaan).

Fig. 1. The time-temperature diagram for segregation of P in SAE 3140 steel. The numbers against the curves denote the P segregation level occurring as a result of the embrittling treatment.

Päästöissä suotautumista tapahtuu suunnilleen lämpötilan 450°C:n yläpuolella kineettisten tekijöiden rajoittaessa sitä alemmissa lämpötiloissa. Tasapainosuotautumista voidaan kuvata ferriittialueella kuvan 1 kaltaisella C-käyrällä, jonka muodon määrää suotautumisen termodynaaminen ajava voima yhdessä kineettisten tekijöiden kanssa. Vaikka alhaisissa lämpötiloissa ajava voima on suuri, kineettiset tekijät hidastavat tehokkaasti suotautumista; korkeissa päästölämpötiloissa tilanne on sen sijaan päinvastainen. Tämän takia suotautumista tapahtuu merkittävästi vain tietyllä lämpötila-alueella (~ 450–600°C) raerajan suotautumisasteen (kuvassa murto-osa raeraja-atomikerroksesta) kasvaessa hehkutusajan pidentyessä.

Myös teräksen koostumus vaikuttaa suotaumiseen; tietyt seosaineet lisäävät kun taas toiset pienentävät suotautumisnopeutta ja -astetta. Guttman otti ensimmäisenä kvantitatiivisesti huomioon seosaineiden vaikutuksen, minkä perusteella hän johti säännöllisen korvausliuoksen mallia ja kemiallista tasapainoehdotusta hyväksi käyttäen seuraavan suotautumisyhtälön /3/:

$$(2) \quad x_i^\phi = \frac{x_i^B \exp(\Delta G_i / RT)}{1 + \sum_j x_j^B (\exp(\Delta G_j / RT) - 1)}$$

jossa ΔG_j voidaan esimerkiksi seoksessa Fe-M-P- kirjoittaa fosforille yksinkertaistaen muotoon

$$(3) \quad \Delta G_P = \Delta G_P^0 + 2\alpha_{Fe-P} (x_M^B - x_M^\phi) + \alpha'_{M-P} (x_M^\phi - x_M^B)$$

jossa α_{Fe-P} ja α'_{M-P} ovat vastaavasti säännöllisen liuoksen mallin vuorovaikutus- ja suhteellinen vuorovaikutusparametri

$$(4) \quad \alpha_{Fe-P} = zN(e_{Fe-P} - 1/2(e_{Fe-Fe} + e_{P-P}))$$

$$(5) \quad \alpha'_{M-P} = \alpha_{M-P} - \alpha_{Fe-P} - \alpha_{Fe-M}$$

joissa z = koordinaatioluku, N = Avogadron vakio ja e = sidosenergia. Vastaavasti ajavalle voimalle ΔG_M voidaan kirjoittaa lauseke

$$(6) \quad \Delta G_M = \Delta G_M^0 + 2\alpha_{Fe-M} (x_M^B - x_M^\phi) + \alpha'_{M-P} (x_P^\phi - x_P^B)$$

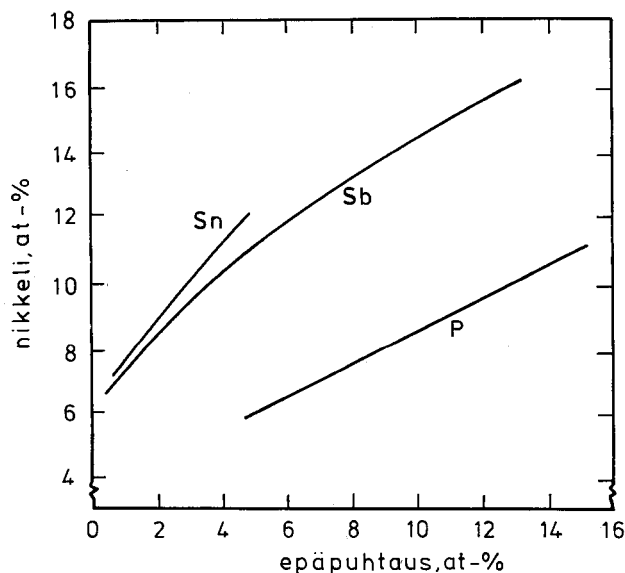
Tarkasteltaessa teräksessä epäpuhtautena olevan fosforin ja teräksessä yleisesti olevien seosaineiden välistä vuorovaikutusta voidaan alkuaineet jakaa kolmeen ryhmään: (1) Mn, Cr ja Ni; (2) Mo ja Ti ja (3) Si, C, N. Ensimmäisen ryhmän (1) seosaineilla on sitova vuorovaikutus ja toisen ryhmän (2) seosaineilla on hyvin voimakas sitova vuorovaikutus fosforin kanssa, kun sen sijaan ryhmän (3) aineilla ja fosforilla on keskenään hylkivä vuorovaikutus. Tarkastellaan seuraavaksi esimerkkinä systeemiä Fe-Cr-P.

Tässä seoksessa yhtälön (3) toinen termi on negatiivinen, koska $x_P^B - x_P^\phi < 0$ (fosfori on pinta-aktiivinen) ja $\alpha_{Fe-P} > 0$. Sen sijaan kolmas termi on positiivinen, sillä $\alpha_{Cr-P} > 0$ (Cr:lla on P:lla on sitova vuorovaikutus) ja $x_{Cr}^\phi - x_{Cr}^B > 0$ (Cr suotautuu fosforin kanssa).

Fosfori pyrkii suotautumaan rajapinnoille, koska se on pinta-aktiivinen, mutta suotautuessaan yhtälön (6) mukaan fosfori aiheuttaa myös Cr:n suotautumista. Toisaalta kromin suotautuminen voimistaa vuorostaan yhtälön (3) perusteella fosforin suotautumista. Tämän kaltaista vuorovaikutusta kutsutaan synergismiksi. Seosaineiden vaikutusta epäpuhtauksien suotautumiseen on yhteenvetomaisesti tarkasteltu kuvassa 2 = kansikuva.

Positiivisella suhteellisella vuorovaikutusenergialla on merkittävä vaikutus suotautumiseen silloin, kun seosatomit ei ole pinta-aktiivinen. Kuitenkin tässäkin tapauksessa seosatomien ja epäpuhtauden sitova vuorovaikutus johtaa kummankin komponentin voimakkaaseen suotautumiseen. Seosaineiden vaikutus raerajan suotautumisasteeseen vaihtelee seosaineesta ja epäpuhtaudesta riippuen. Esimerkiksi nikkeli lisää antimonin suotautumista enemmän kuin kromi; edelleen yhdessä nikkeli ja kromi lisäävät antimonin suotautumista enemmän kuin mitään niiden erillisten vaikutusten summa /5/. Sitä vastoin kromi lisää fosforin suotautumista enemmän kuin nikkeli ja niiden yhteisvaikutus ei ole paljon kromin vaikutusta voimakkaampi. Nikkelin vaikutusta epäpuhtausatomien P, Sn ja Sb suotautumiseen Ni-Cr-teräksessä on tarkasteltu kuvassa 3 /6/.

Kun suotautumistarkastelussa huomioidaan lisäksi neljännen komponentin vaikutus, tilanne monimutkaistuu. Esimerkiksi hiili tai typpi, joilla on sitova vuorovaikutus kromin mutta hylkivä fosforin kanssa voivat sitoa Cr:n siten, että sen ja fosforin yhteissuotautuminen estyy /7/; on nimittäin mahdollista, että hiili suotautuu rajapinnoille yhdessä Cr:n kanssa, mikä nostaa teräksen sitkeyttä (kuva 2, kansikuva). Toisaalta, kun kromi muodostaa rajapinnalla karbideja, fosforin suotautuminen on jälleen mahdollista. Hiilen ja seosaineiden sitova vuorovaikutus on erityisesti huomioitava päästöaurauden estämiseen tähtäävässä Mo- tai Ti-seostuksessa. Näin ollen koska hiili sitoo sekä molybdeenä että titaania, niitä on lisättävä teräkseen hiileen sitoutuvaa määrää enemmän, jotta ne voisivat estää epäpuhtauksien suotautumisen rajapinnoille.



Kuva 3. Nikkelin vaikutus tina, antimonin ja fosforin suotautumiseen Ni-Cr-teräksessä /6/.

Fig. 3. Correlation between Ni grain boundary concentration and P, Sn or Sb concentration.

Sitkeyden mittauksessa huomioitavia seikkoja

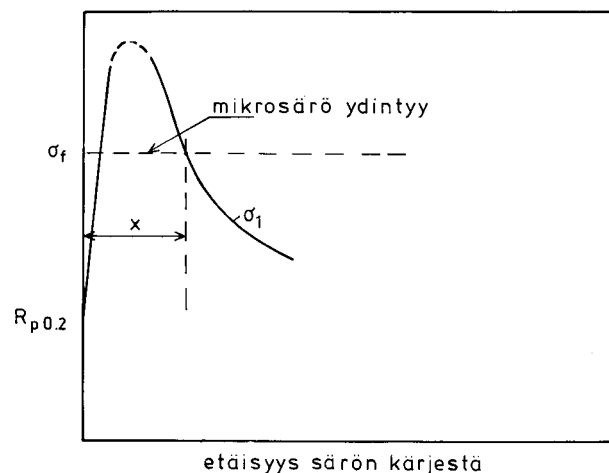
Epäpuhtauksien luonteen, pitoisuuden ja jakauman lisäksi myös mikrorakennemuuttujat ja sitkeyden mittaustapa vaikuttavat sitkeysarvoon. Mikrorakennemuuttujista on erityisesti huomioitava kovuus ja raekoko: kovuus määrää murtuman ydintymistä hallitsevan normaalijännituskomponentin suuruuden ja raekoko vaikuttaa suotautumisasteen lisäksi myös raerajamurtuman etenemiseen. Näin ollen, vaikka epäpuhtauden suotautumisaste on kahdessa teräksessä sama, voi mitattu sitkeys olla eri suuri, jos terästen kovuus ja raekoko vaihtelevat.

Takayama et. al. /8/ tarkastelivat kovuuden ja raekoon vaikutusta sitkeyteen suotautuneiden epäpuhtauksien haurastamassa teräksessä ja johtivat teräksen transitiolämpötilalle FATT (=Fracture Appearance Transition Temperature) yhtälön:

$$(7) \Delta T_{tr} = P_i \frac{\partial T_{tr}}{\partial P_i} + (H-h) \frac{\partial T_{tr}}{\partial H} - (g-G) P_i \frac{\partial^2 T_{tr}}{\partial G \partial P_i} + (H-h) P_i \frac{\partial^2 T_{tr}}{\partial H \partial P_i} - (g-G)(H-h) P_i \frac{\partial^2 T_{tr}}{\partial G \partial H \partial P_i}$$

jossa $\Delta T_{tr} = \text{FATT}(P_i, H, G) - \text{FATT}(O, h, g)$; $P_i = 0$, $H = h$ ja $G = g$ ovat suotautumisasteen (P), kovuuden (HRC) ja raekoon (ASTM:n raekokoluokka G) referenssipisteet.

Määrittämällä osittaisderivaattatermit kokeellisten tulosten pohjalta eri teräksille voidaan esittää empiiriset yhtälöt, joista transitiolämpötila voidaan laskea, kun



Kuva 4. Kaaviollinen esitys terävän ($\rho \rightarrow O$) särön edessä olevasta jännitysjaakaumasta. Maksimi normaalijännitys on särön edessä plastisessa vyöhykkeessä. Murtumisehtona on tässä tapauksessa, että jännitys σ_1 on suurempi kuin paikallinen murtumislujuus σ_f yli karakteristisen etäisyyden X.

Fig. 4. Schematic of the stress distribution ahead of a precrack. The largest normal stress occurs just ahead of a crack in the plastic zone. The testpiece is fractured when the normal stress σ_1 is larger than the local fracture strength σ_f over a characteristic distance, X, ahead of a crack.

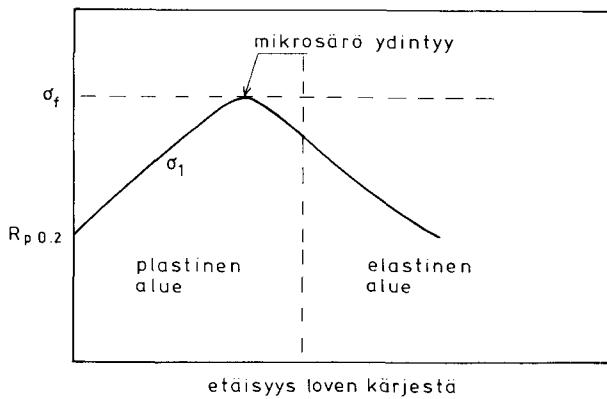
suotautumisaste, kovuus ja raekoko tunnetaan. Takayama et al. esittivät tällaisen yhtälön mm. fosforia sisältävälle Ni-Cr-teräkselle (3.5 % Ni, 1.7 % Cr, 0.3 % C ja 0.07 % P):

$$(8) T_{tr} (^{\circ}\text{C}) = -120 + 4.8 P_p + 2(H-20) + 0.15(7-G)P_p + 0.23(H-20)P_p + 0.036(7-G)(H-20)P_p,$$

jossa $-120 (^{\circ}\text{C})$ on FATT-referenssipiste ($P_p = 0$, $G = 7$ ja $H = 20$ HRC). Lisäksi he lämpökäsittelivät tätä terästä eri tavoin ja määrittivät kokeellisesti transitiolämpötilan; vertaamalla saatua tulosta yhtälöön (7), yhteensopivuus on erinomainen.

Epäpuhtauksien vaikutusta tutkittaessa on myös sitkeyden mittaustavan valinnalla merkitystä, sillä esim. säröllisten (K_{IC} -koe) ja lovetujen (Charpy-V) sauvojen tapauksessa mikroskooppinen murtumiskriteeri on erilainen /9/. Säröllisessä koesauvassa maksimi normaalijännitys muodostuu tasomuodonmuutostilassa plastiseen alueeseen aivan särön eteen ja jännitysgradientti on suuri, kuva 4. Sen sijaan lovellisessa sauvasa maksimi normaalijännitys muodostuu suunnilleen elastis-plastiselle rajalle ja jännitysgradientti on loiva, kuva 5. Tästä johtuu, että murtumista kontrolloiva tilavuus on yhtäältä säröllisessä koesauvassa pieni mutta toisaalta lovetussa koesauvassa suuri, minkä takia esim. sulkeumien murtumissitkeyttä heikentävä vaikutus saattaa jäädä näkyväksi varsinkin lujilla teräksillä.

Samasta syystä K_{IC} -kokeessa voi muodostua särön eteen pituudeltaan raekoon luokkaa olevia säröjä, jotka suuren jännitysgradientin takia eivät ole etenemisky-



Kuva 5. Kaaviollinen esitys loven (esim. $\rho = 0.25$ mm) edessä olevasta jännitysjakaumasta. Maksimi normaali-jännitys on suunnilleen elastis/plastisella rajalla. Murtumisehtona on tässä tapauksessa, että jännitys σ_1 on yhtä suuri kuin paikallinen murtumislujuus σ_f .

Fig. 5. Schematic of the stress distribution ahead of a notch. The largest normal stress occurs approximately at the elastic-plastic interface. The bar is fractured when the normal stress σ_1 reaches the local fracture strength σ_f .

kyisiä; sen sijaan lovetuissa sauvuissa ensimmäinen energeettisesti kasvukykyinen mikrosärö voi murtaa kappaleen. Tämän takia myös suotautuneiden epäpuhtauksien vaikutus ilmenee eri tavalla säröillisissä ja lovetuissa koesauvoissa. Säröillisessä sauvassa murtumista kontrolloi lähinnä keskimääräinen epäpuhtauspitoisuus; sen sijaan lovetussa sauvassa loven edessä oleva maksimi raerajaepäpuhtauspitoisuus kontrolloi murtumaa /10/.

Epäpuhtauksien vaikutus sitkeyteen eri murtumistyypeissä ja kuormitustavoissa

Epäpuhtauksien vaikutus ilmenee kaikissa haurasmurtuman mikroskooppisissa murtumistyypeissä, joita ovat: hauras (kuva 6 (a)) ja sitkeä (kuva 6 (b)) rakeiden läpi etenevä murtuma sekä hauras (kuva 6 (c)) ja sitkeä (kuva 6 (d)) raerajoja pitkin etenevä murtuma. Näin ollen haurasmurtumasta puhuttaessa sillä tarkoitetaan teräk-

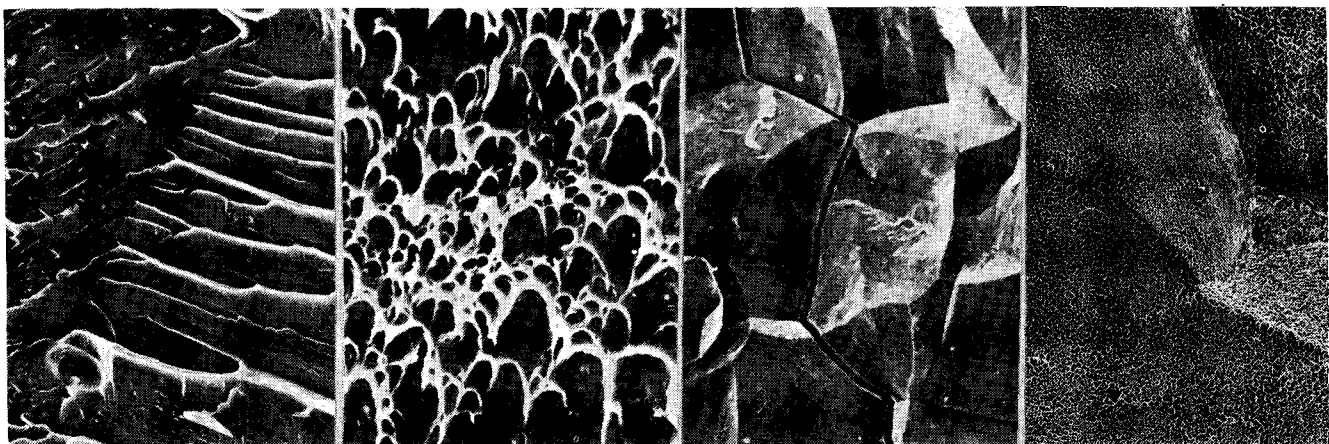
Taulukko 2. Murtumistyyppin mukaan jaoteltuna terästen haurausilmiöitä, joissa epäpuhtauksien vaikutus ilmenee.

Table 2. The embrittlement phenomena of steels affected by the impurities.

Raerajoja pitkin etenevä murtuma	Rakeiden läpi etenevä murtuma
Mikroskooppisesti sitkeä	Mikroskooppisesti sitkeä
Ylikuumennushauraus (Overheated fracture)	Sitkeä murtuma (Fibrous fracture)
Mikroskooppisesti hauras	Mikroskooppisesti hauras
Sammutushauraus (As-quenched embrittlement)	Lohkomurtuma (Cleavage fracture)
Alempi päästöhaauraus (One step temper embrittlement)	Vedyn indusoima hauraus (Hydrogen assisted fracture)
Ylempi päästöhaauraus (Reversible temper embrittlement)	
Sulametallihauraus (Liquid metal embrittlement)	
Vedyn indusoima hauraus (Hydrogen assisted embrittlement)	
Väsymismurtuma Virumismurtuma Jännityskorroosio Jännityksenpoistoherkkutusauraus	

sen makroskooppista käyttäytymistä esim. koesauvan murtamiseen kuluvaa energiaa murtopinnan ollessa mikroskooppisesti joko sitkeä tai hauras. Sen sijaan makroskooppisesti sitkeä murtuma on aina myös mikroskooppisesti sitkeä.

Epäpuhtauksien vaikutus tulee näkyviin myös eri kuormitustavoissa ja lämpötiloissa. Paitsi iskumaisessa kuormituksessa, epäpuhtaudet heikentävät mekaanisia ominaisuuksia myös staattisessa vetokuormituksessa (A, Z,



Kuva 6. Mikroskooppiset murtumistyytit:
a) hauras rakeiden läpi etenevä murtuma (lohkomurtuma)
b) sitkeä rakeiden läpi etenevä murtuma
c) hauras raerajoja pitkin etenevä murtuma
d) sitkeä raerajoja pitkin etenevä murtuma

Fig. 6. The microscopic types of fracture:
a) brittle transgranular fracture
b) ductile transgranular fracture
c) brittle intergranular fracture
d) ductile intergranular fracture

K_{IC} , COD), staattisen jännityksen alaisessa kuormituksessa (K_{ISCC}), väsytytkuormituksessa (ΔK_{th}) ja virutuskuormituksessa. Taulukossa 2 on esitetty murtumistyyppien mukaan jaoteltuna terästen haurausilmiöitä, joissa epäpuhtauksien haitallinen vaikutus ilmenee. Seuraavassa tarkastellaan lähemmin mikroskooppisia murtumistyyppisiä sekä eri kuormitustyyppistä erityisesti väsytytkuormitusta.

Hauraasti rakeiden läpi etenevä murtuma

Vaikka hauraasti rakeiden läpi etenevä murtuma eli lohkomurtuma on mikroskooppisesti hauras (kuva 6a), edeltää myös sitä aina plastinen deformaatio, joka ydintää matriisiin, karbidiin, sulkeumaan tai raerajalle mikrosärön; kun tämä on energieettisesti etenemiskykyinen, kapale murtuu. Mikrosärön etenemiseen vaaditaan tietynsuuruinen vetojännitys, nk. (paikallinen) lohkomurtumislujuus (σ_f), joka riippuu mikrorakenteen ja seostuksen lisäksi mikrosärön ydintymistavasta. Jos dislokaatiot ydintävät mikrosärön hilaan, lohkomurtumislujuudelle voidaan johtaa yhtälö /11/.

$$(9) \quad \sigma_f = \frac{4G\gamma_p d^{-1/2}}{k_y}$$

jossa G on liukukerroin, γ_p on mikrosärön etenemiseen sitoutuva energia, $2d$ on raekoko ja k_y on Hall-Petch-yhtälön vakio ($\sigma = \sigma_0 + k_y d^{-1/2}$). vastaavasti mikrosärön ydintyessä karbidiin lohkomurtumislujuudelle voidaan esittää lauseke (viitteen /12/ mukaan):

$$(10) \quad \sigma_f = \sqrt{\frac{16E\gamma_p}{\pi(1-\nu^2)(4c+L)}}$$

jossa E on kimmokerroin, ν on Poissonin vakio, c on karbidin paksuus ja L on mikrosärön ydintävän dislokaatioruuhkan pituus.

Jotta teräs murtuisi lohkomaisesti, jännityksen täytyy ainakin paikallisesti ylittää mikrosärön etenemiseen tarvittava jännitys (σ_f) (kuvat 4 ja 5). Alhaisissa lämpötiloissa ja varsinkin lujilla teräksillä voi jo vetokuormituksen aiheuttama nimellisjännitys ylittää tämän arvon. Usein lohkomurtuman syyinä on kuitenkin ulkoisten tai sisäisten epäjatkuvuuskohtien aiheuttama jännityskonsentraatio.

Myös mikrorakenteella on suuri vaikutus teräksen lohkomurtumislujuuteen ferriittis-perliittisen rakenteen ollessa haurain ja päästömartensiittisen sitkein rakenne. Mikrorakenteessa erityisesti efektiivinen raekoko ja karbidien jakauma mutta myös sulkeumat ja liuoksessa olevat epäpuhtaudet vaikuttavat merkittävästi lohkomurtuman ydintymiseen ja etenemiseen. Varsinkin venyneet sulkeumat alentavat sitkeyttä, koska ne toimivat mikrosärön ydintymispaikkana ja aiheuttavat jännityskonsentraatiota. Liuoksessa olevat epäpuhtaudet voivat haurastaa terästä, jos ne liuoslujittavat matriisia, rajoittavat ristiliukumista tai suosivat kaksostumalla tapahtuvaa plastista deformaatiota.

Liuoslujittaminen nostaa myötölujuutta, mikä helpottaa mikrosärön etenemistä sekä ehjässä että säröillisessä materiaalissa. Sen sijaan ristiliukumisen rajoittuminen muuttaa plastista deformaatiota epähomogeeniseksi, mikä helpottaa mikrosärön ydintymistä ja estää epäjatku-

vuuskohtaan jännityskonsentraatiota laukeamasta, (mikä vuorostaan helpottaa mikrosärön etenemistä). Mitä homogeenisempaa plastinen deformaatio on, sitä helpommin dislokaatioruuhkan tai kaksosen raerajalla aiheuttama jännityskonsentraatio laukeaa mikrosärön ydintymisen vaikutuksessa. Homogeeninen deformaatio pyöristää myös mikrosärön ja ulkoisen särön kärkeä, jolloin jännityskonsentraation pienentyessä lohkomurtumislujuus pienee. Ferriittisissä teräksissä myös muodonmuutosnopeus vaikuttaa teräksen hauras-sitkeä-käyttäytymiseen, sillä muodonmuutosnopeuden kasvu nostaa teräksen myötölujuutta. Kun plastinen deformaatio tapahtuu kaksostumalla, raerajaan törmäävä kaksos aiheuttaa suuren paikallisen muodonmuutosnopeuden, mistä seuraa mikrosärön ydintymisen ja etenemisen helpottuminen.

Vedyn haurastava vaikutus

Vety alentaa hilan koheesiota ja lisää lohkomurtumisvaaraa etenkin pienillä kuormitusnopeuksilla. Tämä ilmenee esimerkiksi mitattaessa vedyllä varatuista staattisen jännityksen alaisista näytteistä murtumiseen kuluvaa aikaa. Myös särön etenemiseen tarvittavat jännityskonsentraation kynnysarvo (K_{th}) pienenee vetypitoisuuden kasvaessa.

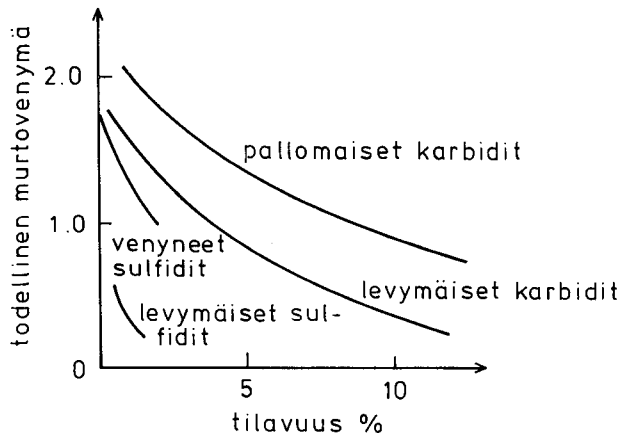
Vedyn haurastava vaikutus pienenee lämpötilan ja myötölujuuden laskiessa sekä kuormitusnopeuden kasvaessa. Vedyn diffuusionopeus on ferriittisessä suuri ja atomikoosta johtuen vety kerääntyy ferriittisessä nopeasti alueille, joissa vallitsee voimakas hydrostaattinen vetojännitys. Kuitenkaan alhaisissa lämpötiloissa ja suurilla kuormitusnopeuksilla vedyn diffuusiota ei ehdi tapahtua eikä näin ollen vedyn indusoimaa haurautta esiinny.

Sitkeä rakeiden läpi etenevä murtuma

Sitkeä murtuma tapahtuu mikro-onkalojen (voidien) ydintymisen, kasvun ja yhdistymisen avulla. Tämän takia sitkeän murtuman murtopinta on kennomainen (kuva 6 b); kenoja kutsutaan usein dimpleiksi ja niiden koosta voidaan suunnilleen arvioida ydintymispaikkojen määrä. Vaikka murtuma voi ydintyä kaikkiin metallissa oleviin epähomogeenisuuksiin, se muodostuu helpoimmin matriisissa oleviin sulkeumiin. Ydintymisen helpouteen vaikuttavat mm. sulkeumien koko, muoto, jakauma, sulkeumien muovautuvuus, sulkeuman ja matriisin rajapinnan koheesio (siis myös rajapinnalle suotautuneet epäpuhtaudet) sekä sulkeuman ja matriisin tilavuuden lämpötilakerroimien erotus.

Mikro-onkalo voi muodostua kahdella eri tavalla: (1) plastisessa deformaatiossa sulkeuman ympärille muodostunut jännityskenttä irrottaa sen matriisista tai (2) plastisen deformaation aiheuttama jännityskonsentraatio halkaisee sulkeuman. Ydintymistapaan vaikuttaa muun muassa sulkeuman muoto siten, että levymainen sulkeuma murtuu pallomaista helpommin. Erilaisista sulkeumista voidit ydintyvät mangaanisulfidiin helpommin kuin oksideihin ja silikaatteihin, koska mangaanisulfidi kutistuu teräksen jähmettyessä huomattavasti matriisia enemmän. Mangaanisulfidi aiheuttaa myös usein anisotropisuutta teräksen sitkeydessä, koska se muovautuu helposti kuumamuokkauksessa; esimerkiksi valssausuuntaan venyneet sulfidit heikentävät poikittaista iskusitkeyttä.

Sulkeumien tilavuusosuuden ja jakauman lisäksi sulkeumien luonne ja muoto määräävät teräksen murtovenyvän ja murtokurouman (kuva 7) sekä transitiolämpö-



Kuva 7. Teräksessä olevien sulkeumien ja erkaumien muodon ja määrän vaikutus todelliseen murtovenymään (viitteen /14/ mukaan).

Fig. 7. Effects of type and shape of second-phase particles on the tensile ductility of steel.

tilan yläpuolella iskusitkeyden /15/. Kuvan 7 mukaan veto-suuntaa vastaan kohtisuoraan olevat kiekkomaiset sulfidit alentavat murtovenymää enemmän kuin vetoakselin suuntaan venyneet sulfidit. Sen sijaan perliitin karbidit ovat levymäisinäkin vähemmän haitallisia, koska karbidin halkeaminen vaatii suurta plastista venymää.

Mikroskooppisesti hauras raerajoja pitkin etenevä murtuma

Kun raerajoille suotautuneet epäpuhtausatomit tai raerajasuotautumisen synnyttämä hauras faasi alentaa rajapinnan koheesiota, murtuman eteneminen rajapintaa pitkin (kuva 6c) saattaa olla energeettisesti edullisinta. Vaikka murtopinta on mikroskooppisesti hauras, murtuman ydintymiseen ja etenemiseen liittyy tässäkin murtumistyyppissä plastista deformaatiota. Raerajamurtuma ydintyy usein raerajalla olevaan faasiin, esimerkiksi erkaumaan. Eräissä teräksen haurausilmiöissä raerajakerkaumien on esitetty olevan jopa välttämättömiä murtuman kannalta (alempi päästöhaaraus).

Päästöhaurautusilmiöt

Teräs voi haurastua päästössä kahdella lämpötila-alueella (~ 300–400°C ja ~ 450–600°C), minkä mukaan vastaavia haurausilmiöitä kutsutaan *alemmaksi* ja *ylemmäksi päästöhauraudeksi*. Kuitenkin teräksen murtopinnassa voi olla jo sammutuksen jälkeen raerajamurtumaa. Tätä haurautta kutsutaan *sammutetun tilan hauraudeksi* jonka aiheuttaa austeniittialueella tapahtuva epäpuhtausatomien (esim. fosforin) suotautuminen. Sen sijaan jos austeniittialueella ei tapahdu suotautumista, teräksen murtopinta on sammutuksen jälkeen lohkomainen tai näennäisesti lohkomainen.

Tutkittaessa austenitointilämpötilan vaikutusta teräksen 42 CrMo 4 sammutetun tilan sitkeyteen Charpy-V-iskukokeella ja K_{IC} -kokeella, voitiin sitkeystuloksissa havaita mielenkiintoinen ristiriitaisuus, taulukko 3. Austenitointilämpötilan ja perinnäisen austeniitin raekoon kasvaessa iskusitkeys laski, mutta sen sijaan murtumissitkeys kasvoi. Tätä ilmiötä on pyritty selittämään muun muassa siten, että mikroskooppinen murtumiskriteeri ei ole sama näissä sitkeyden mittaustavoissa, mihin liittyy lisäksi suotautumisasteen pieneneminen austenitointilämpötilan kasvaessa.

Taulukko 3. Austenitointilämpötilan vaikutus teräksen 42 CrMo 4 isku- ja murtumissitkeyteen /6/.

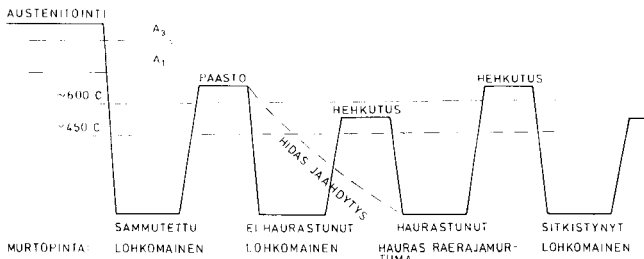
Table 3. The effect of the austenitizing temperature on the notched-bar impact toughness and fracture toughness of 42 CrMo 4 steel.

	Lämpökäsittelyt	
	$T_{\gamma} = 900^{\circ}\text{C}$ Öljys. $T_p = 200^{\circ}\text{C}$	$T_{\gamma} = 1200^{\circ}\text{C}$ Öljys. $T_p = 200^{\circ}\text{C}$
Raekoko	$D_{\gamma} = 10 \mu\text{m}$ $G = 10$	$D_{\gamma} = 260 \mu\text{m}$ $G = 1$
Koelämpötila	-145°C	-145°C
$R_{p0.2}$	1612 N/mm ²	1437 N/mm ²
KV	8J	3J
K_{IC}	36.7 MN/m ^{3/2}	46.9 MN/m ^{3/2}

Alemman päästöhaurautuksen syyksi on esitetty perinnäisen austeniitin raerajoille erkaautuvien karbidien ja austeniittialueella suotautuvien epäpuhtausatomien yhteisvaikutus /17/. Nykyisten tutkimusten mukaan kumpikaan osatekijä ei pysty yksinään selittämään kyseistä haurausilmiötä. Karbidien vaikutus voi olla kahdenlainen; yhtäältä ϵ -karbidi muuttuu näissä lämpötiloissa ohuiksi sementtiittilevyiksi, jotka ovat tehokkaita liukuesteitä ja helpottavat murtuman ydintymistä ja etenemistä jommuutenkin epäpuhtausatomien heikentämällä perinnäisen austeniitin raerajoilla ja toisaalta karbidit voivat muodostuessaan lisätä suotautumista sulkeuma/matriisi-rajapinnalla, jos epäpuhtausatomien liukoisuus on pienempi karbidin kuin matriisin. Kineettisistä syistä ei alemman päästöhaurautuksen lämpötila-alueella tapahdu varsinaisesti epäpuhtausatomien lisäsuotautumista, mutta on oletettava, että epäpuhtausatomien terävyys raerajan läheisyydessä, minkä takia raerajan suotautumisaste voi kuitenkin lisääntyä.

Alempi päästöhaaraus alentaa teräksen sitkeyttä, mikä ilmenee selvästi esim. Charpy-V-iskukokeessa. Päästölämpötilan kasvaessa teräksen kovuus alenee, mikä yleensä nostaa "sitkeyttä". Alemman päästöhaurautuksen takia sitkeydellä voi kuitenkin olla minimi ~ 300–400°C:n välisellä lämpötila-alueella. Sen sijaan hauraus ei vaikuta kovuuteen, joka laskee jatkuvasti päästölämpötilan kasvaessa. Yli ~ 400°C:n lämpötiloissa sementtiittilevyt paloutuvat ja karkeutuvat, jolloin niiden vaikutus murtuman ydintymiseen pienenee; tämän ja matriisin pehmenemisen takia iskuenergia kasvaa. Alemmalle päästöhaurautukselle on ominaista, ettei teräs sen sitkeyden jälkeen tule uudestaan hauraaksi millään päästökäsittelyllä. Tästä johtuu haurausilmiön englanninkielinen nimitys One-Step Temper Embrittlement.

Ylemmän päästöhaurautuksen syynä on erityisesti fosforin (arsenin, tinan ja antimonin) tasapainosuotautuminen yli ~ 450°C:n lämpötiloissa /17/. Tämän takia ylempi päästöhaaraus on reversiibeli ilmiö, mikä ilmenee siten, että päästölämpötilan kasvaessa yli ~ 600°C:n suotautumisaste pienenee ja teräs sitkeytyy, mutta sen jouduessa uudelleen haurausalueelle sitkeys pienenee jäl-



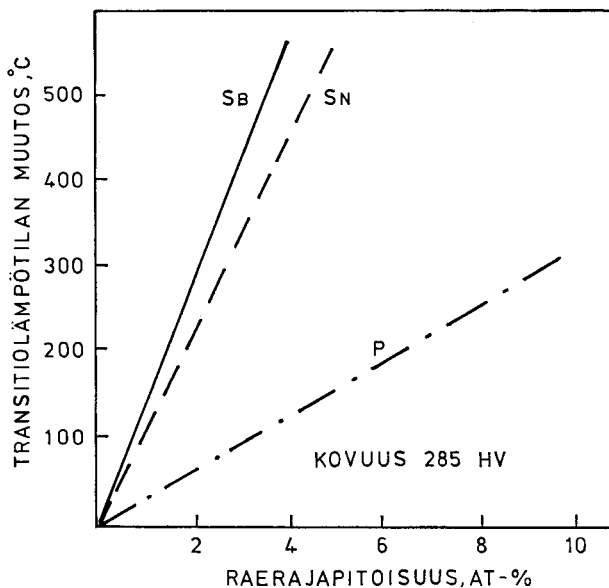
Kuva 8. Ylemmän päästöhaurautuksen luonne.

Fig. 8. The character of reversible temper embrittlement.

leen, kuva 8. Tästä puolestaan johtuu ylemmän päästöhaurautuksen englanninkielinen nimitys — Reversible Temper Embrittlement.

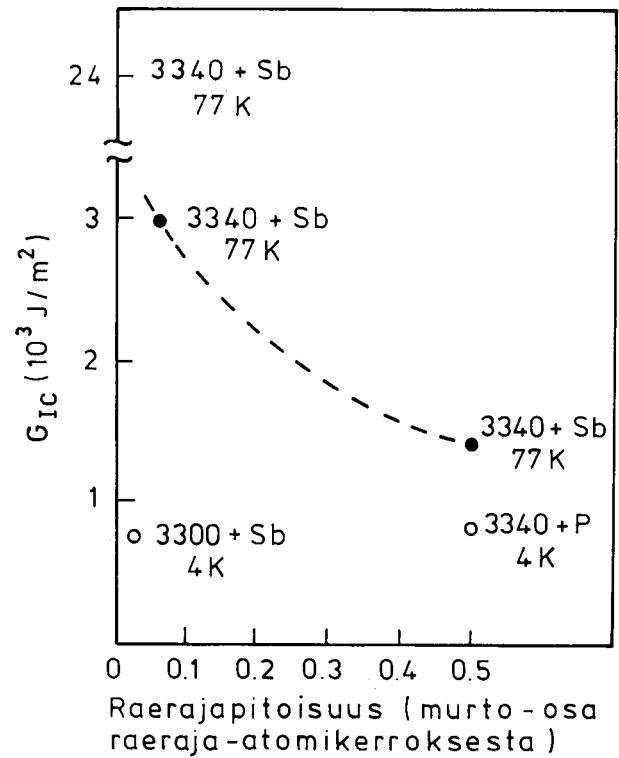
Ylempi päästöhaurautus ilmenee selvästi mm. iskusitkeyden ja murtumissitkeyden alenemisena. Kuvassa 9 on esitetty fosforin, tinan ja antimoinin vaikutus teräksen SAE 3340 transitiolämpötilaan. Kuvan mukaan fosfori nostaa transitiolämpötilaa vähiten ja antimoni eniten. Antimonin ja fosforin vaikutus murtumissitkeyteen G_{IC} on esitetty kuvassa 10. Kun antimonia on suotautunut raerajoille puoli atomikerrosta, murtumissitkeys alenee lämpötilassa 77 K peräti 94 %. Kun fosforia on vastavasti suotautuneena puolet atomikerroksesta, murtumissitkeys alenee lämpötilassa 4 K suunnilleen 96 %.

Sitkeys pienenee näin paljon sen takia, että epäpuh-
tausatomit pienentävät mikrosärön ydintämiseen tarvit-



Kuva 9. Transitiolämpötilan muutos raerajaepäpuhtauspitoisuuden funktiona; teräs SAE 3340 on dopattu: 0,06 % P, 0,6 % Sn ja 0,07 % Sb /18/.

Fig. 9. Change in ductile-brittle transition temperature as function of grain boundary impurity concentration: the steel was SAE 3340 doped individually with 0,06 P, 0,06 Sn or 0,06 Sb.



Kuva 10. Murtumissitkeyden G_{IC} aleneminen Ni-Cr-teräksessä antimoinin ja fosforin raerajasuotautumisen seurauksena (viitteen /10/ mukaan).

Fig. 10. Reduction in fracture toughness of Ni-Cr steel as a result of intergranular segregation of Sb or P.

tavaa työtä (γ) eli alentavat raerajan koheesiota. Syyksi koheesion alenemiseen on esitetty sidosuhteiden muuttuminen rajapinnalla siten, että rautasidoksen kovalenttinen luonne voimistuu rajapinnan suunnassa ja heikkenee raerajan yli /10/.

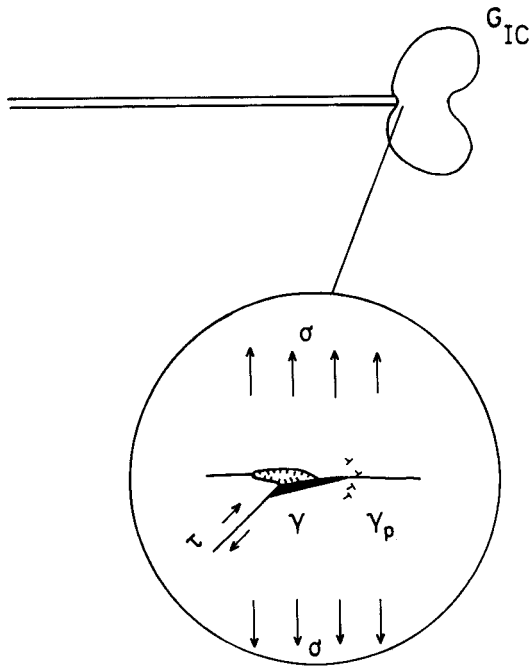
Kuitenkin pintaenergiatermin 2γ ($\sim 2J/m^2$) ja murtumissitkeyden G_{IC} ($\sim 25000 J/m^2$) suuruusluokkaeron takia on ollut vaikeaa ymmärtää näin voimakasta sitkeyden alenemista pelkästään γ :n pienenemisen kautta. Teoreettisesti voidaan kuitenkin osoittaa, että γ :n aleneminen 12 %:lla laskee murtumissitkeyttä noin 90 %. Tarkastellaan ilmiön ymmärtämisen helpottamiseksi kuvaa 11. Mikrosärön edessä raerajalla sen kärjessä tapahtuu plastista deformaatiota, jonka suuruuden ilmoittaa pintaenergiatermi γ_p ($\sim 15 J/m^2$).

Dislokaatioteoreettisesti voidaan γ_p :n ja γ :n välille esittää teräksessä yhteys /12/.

$$(11) \frac{d\gamma_p}{\gamma_p} = 7,5 \frac{d\gamma}{\gamma}$$

Toisaalta murtumisehto voidaan esittää puhtaasti elastisessa materiaalissa siten, että ulkoisen särön edessä olevan jännityksen $\sigma = K_{IC}/\sqrt{2\pi x_0}$ täytyy olla suurempi kuin mikrosärön etenemiseen tarvittava jännitys (yhtälö 9). Tämän perusteella murtumissitkeydelle G_{IC} saadaan yhtälö:

$$(12) G_{IC} = \frac{K_{IC}^2 (1-\nu^2)}{E} = 32 \left(\frac{x_0}{L+4c} \right) \gamma_p$$



Kuva 11. Raerajamurtuman ydintyminen raerajalla olevaan karbidiin. Murtumissitkeys G_{IC} , jota kuvaa särön edessä olevan plastisen vyöhykkeen koko, on funktio sekä pintaenergiatermistä γ_p että koheesioenergiasta γ .

Fig. 11. The nucleation of intergranular fracture on the grain boundary carbide. The fracture toughness G_{IC} characterized by the size of the plastic zone is a function of both the surface energy term γ_p and cohesive energy γ .

jossa x_0 on mikrosärön ydintymispaikan etäisyys särön kärjestä. Kun suhde $x_0 / (L+4c)$ voi olla martensiittisessä rakenteessa suuruusluokkaa 10^2 , murtumissitkeydelle G_{IC} ja pintaenergialle γ_p saadaan yhteys $G_{IC} \approx 3200 \gamma_p$. Näin havaitaan, että jos raerajan koheesio alenee 12 %, yhtälön (10) mukaan pintaenergiatermi γ_p alenee 90 % samoin kuin murtumissitkeys G_{IC} .

Vedyn ja epäpuhtauksien yhteisvaikutus

Myös epäpuhtauksien ja ulkoisten tekijöiden yhteisvaikutus voi saada aikaan mikrokooppisesti hauraan raerajamurtuman. Tällaisesta yhteisvaikutuksesta mainittakoon esimerkkinä *vedyn indusoima hauraus*. Vety yhdessä epäpuhtauksien kanssa heikentää voimakkaasti raerajojen koheesiota. Koska vety alentaa myös hilan koheesiota, murtuma etenee lohkomaisesti teräksissä, joissa epäpuhtauksien raerajasuotautumista ei ole tapahtunut. Vaikkakaan vedyn ja epäpuhtauksien yhteisvaikutusta ei tunneta tarkasti on siitä esitetty muun muassa seuraavia oletuksia:

- vedyn ja epäpuhtauksien yhteisvaikutus on additiivinen; toisin sanoen vety haurastaa yhtäläisesti sekä raerajan että matriisin; vasta suotautuminen saa aikaan raerajojen koheesio alenemisen hilaan nähden
- vedyn ja epäpuhtauksien yhteisvaikutus on synergistinen; raerajoille suotautuneet epäpuhtaudet vetävät sinne vetyä molempien alentaessa raerajan koheesiota
- epäpuhtausatomit ovat vetymyrkkyjä; toisin sanoen ne estävät kaasumaisen vedyn muodostumisen, jolloin vedyn raerajoja haurastava vaikutus tulee esille.

Sitkeä raerajoja pitkin etenevä murtuma

Jos raerajalle on erkautunut runsaasti toista faasia, sitkeän murtuman eteneminen raerajaa pitkin (kuva 6d) voi olla energieettisesti edullisinta. Tällainen teräksissä esiintyvä haurausilmiö on niin kutsuttu *ylikuumennushauraus*, jonka voi aiheuttaa muun muassa liian korkea ($> 1100^\circ\text{C}$) austenitointilämpötila. Ilman raerajahaurautta näin korkeassa lämpötilassa austenoitu niukkaseosteinen teräs voi olla sammutetussa tilassa tai päästettynä sitkeämpi kuin normaalisti austenitoitu teräs.

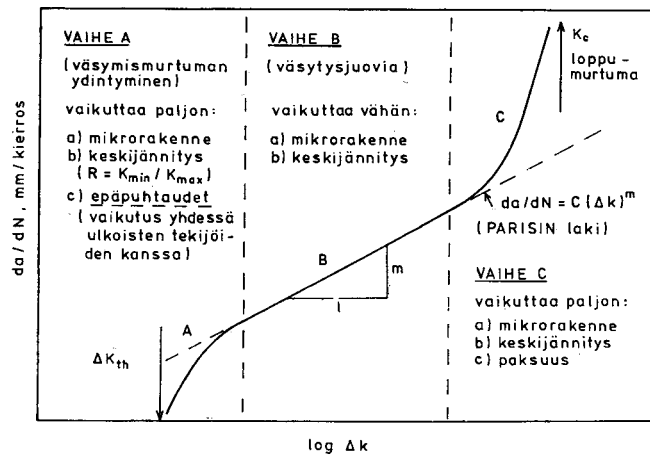
Ylikuumennushauraus johtuu siitä, että korkean austenitointilämpötilan takia mangaanisulfidit liukenevat ($\sim 1200^\circ\text{C}$) ja erkautuvat jäädytyksessä raerajoille, mistä seuraa sitkeyden aleneminen etenkin iskukokeessa. Sen sijaan hauraus ei välttämättä vaikuta murtumissitkeyteen, mikä johtuu terävän särön edessä olevan plastisen vyöhykkeen pienuudesta. Ylikuumennushauraus tulee selvemmin esille päästölämpötilan kasvaessa, koska plastinen vyöhyke kasvaa myötölujuuden pienentyessä.

Vähän rikkiä sisältävät teräkset haurastuvat runsaikkisiksi helpommin. Tämä johtuu siitä, että runsaasti rikkiä sisältävissä teräksissä sulfideja on matriisissäkin niin paljon, ettei raerajasulfidien vaikutus tule esille. Toisaalta haurastuminen eliminoiduu kokonaan, kun rikkipitoisuus on riittävän alhainen (alle 0.002 %). Haurastumislämpötilaan vaikuttaa myös teräksen mangaanipitoisuus. Koska rikin liukoisuus austeniittiin pienenee mangaanipitoisuuden kasvaessa, haurastumislämpötilaa voidaan nostaa teräksen mangaanipitoisuutta kasvattamalla.

Väsyminen

Säröllisen kappaleen väsyminen voidaan jakaa kolmeen vaiheeseen: (1) kynnysjännitysintensiiteetin alue, jossa särö lähtee liikkeelle; (2) lineaarisen kasvun alue, jossa pätee Parisin laki ($da/dN = C(\Delta K)^m$) ja (3) loppumurtuman alue, kuva 12. Yleensä lineaarisen kasvun alueella voidaan murtopinnassa havaita väsymismurtumille tyypillisiä väsymisjuovia (striation). Sen sijaan loppumurtuman alueella murtopinnassa voi olla lohkomurtumaa, raerajamurtumaa ja sitkeää murtumaa.

Kuvan 12 mukaan säröllisellä kappaleella on olemassa kynnysjännitysintensiiteetti ($\Delta K_{th} = K_{max} - K_{min}$), jota pienemmällä jännitysintensiiteetin vaihtelulla särö ei kasva. Tähän arvoon samoin kuin särön kasvunopeuteen tällä alueella vaikuttavat suuresti mikrorakenne, ulkoiset vau-



Kuva 12. Kaaviollinen esitys väsymismurtuman kasvunopeuden da/dN vaihtelusta jännitysintensiiteetin ΔK funktiona.

Fig. 12. Schematic variation of fatigue crack growth rate da/dN with alternating stress intensity ΔK in steels, showing regimes of primary crack growth mechanisms.

riotekijät sekä keskijännitys. $R = K_{\min} / K_{\max}$). Sen sijaan Parisin lain alueella näillä muuttujilla on pieni vaikutus. Mutta loppumurtuman alueella, jossa jännitysintensiiteetin maksimiarvo lähestyy murtumissitkeyttä K_{IC} , keskijännitys ja mikrorakenne vaikuttavat jälleen materiaalin väsymiskäyttäytymiseen; sen sijaan ulkoisten vauriotekijöiden vaikutus on tällä alueella pieni.

Säröllisessä kappaleessa väsymissärö on olemassa toisin kuin ehjässä kappaleessa, jossa särön ydintyminen kontrolloi väsymiskäyttäytymistä. Toisin sanoen ehjästä kiillotetusta sauvasta mitattu väsymisraja on olennaisesti se jännitys, jonka alapuolella väsymismurtuma ei ydinny. Sen sijaan säröllisestä sauvasta mitattava jännitysintensiiteetin kynnysarvo on suurin jännitysintensiiteetin vaihtelu, jolla särö ei kasva. Tämän takia mikrorakenne vaikuttaa eri tavalla väsymiskestävyyteen säröllisessä ja ehjässä kappaleessa.

Sulkeumien vaikutusta väsymissärön ydintymiseen ja kasvunopeuteen ei tunneta tarkasti. Koska sulkeumat voivat toimia murtuman ydintymispaikkana ja aiheuttaa jännityskonsentraatiota, ne voivat helpottaa ehjässä kappaleessa väsymismurtuman ydintymistä ja alentaa väsymisrajaa. Tämä ilmiö onkin havaittu useilla materiaaleilla; esimerkiksi tutkittaessa perliittisen hiiliteräksen väsymiskestävyyttä voitiin todeta, että väsymisikä kasvoi, kun sulkeumien tilavuusosuus teräksessä pieneni. Sen sijaan jännitysintensiiteetin kynnysarvoon sulkeumat eivät vaikuttaneet. Tämä johtuu ilmeisesti siitä, että ulkoinen särö aiheuttaa suuren jännityskonsentraation, johon verrattuna sulkeumien jännityskonsentraatio on pieni. Kuitenkin runsaasti sulkeumia sisältävän materiaalin loviherkkyyden on alhainen. Koska sulkeumat konsentroitavat jännitystä, ei ulkoisen loven lisääminen kappaleeseen vaikuta asiaan. Toisaalta säröllisissä kappaleissa särön edessä oleva plastinen vyöhyke on myös niin pieni, ettei siinä välttämättä ole lainkaan sulkeumia, jolloin ne eivät voi vaikuttaa jännitysintensiiteetin kynnysarvoon.

Tutkimuksessa /19/, joka suoritettiin paineastiateräksellä (A 533 B) todettiin, että kun rakenteesta poistettiin sulkeumat (MnS ja Al_2O_3), väsymismurtuman kasvunopeus pieneni ja materiaalin väsymiskäyttäytymisen tuli isotrooppiseksi. Mutta toisaalta on myös olemassa tutkimustuloksia, joiden mukaan sulkeumat pienentävät väsymismurtuman kasvunopeutta. Sulkeumien vaikutus väsymismurtuman ydintymiseen ja etenemiseen riippuu sulkeumien sitkeyden, koon ja muodon lisäksi olennaisesti sulkeumien pituuden lämpötilakertoimesta matriisiin nähden sekä teräksen lämpötilasta väsymiskäyttöolosuhteissa. Pituuden lämpötilakertoimesta ja lämpötilasta riippuen sulkeumat voivat aiheuttaa matriisiin joko veto- tai puristusjännitystilaa ja näin ollen ne voivat sekä alentaa että lisätä teräksen väsymiskestävyyttä.

Myös teräksessä suotautuneena olevat epäpuhtaudet voivat alentaa väsymiskestävyyttä. Säröllisessä kappaleessa niiden vaikutus tulee esille kynnysjännitysintensiiteetin ja loppumurtuman alueella. Tutkittaessa erittäin lujan martensiittisen teräksen (300 M) väsymiskestävyyttä kosteassa ilmassa suotautuneiden epäpuhtauksien todettiin alentavan jännitysintensiiteetin kynnysarvoa noin 30 % ja nostavan myös väsytyssärön kasvunopeutta tällä alueella /20/. Epäpuhtauksien vaikutus ilmeni sekä pienellä ($R=0.05$) että suurella ($R=0.7$) keskijännityksellä. Kummassakin tapauksessa murtopinnassa oli havaittavissa raerajamurtumaa.

Myös loppumurtuman alueella murtuma voi edetä raerajoja pitkin, mutta eri syystä kuin kynnysjännitysintensiiteetin alueella. Silloin kun särön kasvunopeus on pieni, kosteasta ilmassa ehtii tunkeutua vetyä särön kärkeen,

jossa se yhdessä epäpuhtauksien kanssa alentaa raerajojen koheesiota, minkä johdosta kynnysjännitysintensiiteetti laskee. Sen sijaan loppumurtuman alueella särön kasvunopeus on niin suuri, ettei vedyn tunkeutuminen särön kärkeen ehdi tapahtua. Kuitenkin tällä alueella jännitysintensiiteetti on niin korkea, että se voi paikallisesti ylittää murtumissitkeyden K_{IC} , minkä takia murtopinnassa voi esiintyä raerajamurtumaa.

YHTEENVETO

Tässä esityksessä on tarkasteltu katsauksenomaisesti epäpuhtauksien vaikutusta terästen murtumiskäyttäytymiseen. Aihetta on voitu tutkia systemaattisesti vasta aivan viime vuosina, mutta sen taloudellisen merkityksen takia tutkimus on ollut hyvin intensiivistä. Tutkimus tällä alueella on edistynyt nopeasti lähinnä kahdesta syystä: ensinnäkin kokeellista tutkimusta on auttanut erityisesti sopivien tutkimusvälineiden (Auger ja Esca) kehittyminen ja toiseksi epäpuhtauksien suotautumista kuvaavien termodynaamisten mallien kehittyminen on auttanut ymmärtämään monien haurausilmiöiden perusluonnetta.

Epäpuhtauksien vaikutus ilmenee kaikissa mikroskooppisissa murtumistyypeissä, joita ovat (1) hauras ja (2) sitkeä rakeiden läpi etenevä murtuma sekä (3) hauras ja (4) sitkeä raerajamurtuma. Epäpuhtauksien vaikutus ilmenee iskumaisen kuormituksen lisäksi muissakin kuormitustyypeissä kuten esimerkiksi staattisessa vetokuormituksessa. Epäpuhtaututkimusten merkitys on korostunut, koska epäpuhtaudet voivat alentaa huomattavasti terästen sitkeyttä. Esimerkiksi eräissä tutkimuksissa on voitu todeta murtumissitkeyden alentuneen epäpuhtauksien johdosta jopa yli 90 %.

KIRJALLISUUS — REFERENCES

1. M. Guttman, *Met. Trans.*, 8A, 1977, Sep. 198 J.
2. E. D. Hondros and M. P. Seah, *Int. Met. Rev.* 22, 1977, 262.
3. M. Guttman, *Surface Science*, 53, 1975, 213.
4. M. Guttman, *The Influence of Interfacial Segregation in Embrittlement Phenomena, Advances in the Mechanics and Physics of Surfaces*, Pergamon Press, New York, 1982.
5. M. Guttman, *Phil. Trans. R. Soc. Lond. A* 295, 1980, 169—196.
6. C. L. Briant and S. K. Banerji, *International Metals Reviews*, 23, 1978, 4, 164—199.
7. M. Guttman, *The Thermodynamics of Interactive Co-segregation of Phosphorus and Alloy Elements in Iron and Temper-Brittle Steels*, to be published 1982.
8. S. Takayama, T. Obura, Shin-Cheng Fu and G. J. McMahon Jr., *Met. Trans* 11A, 1980, Sep. 1513—1530.
9. R. O. Ritchie, B. Francis and W. L. Server, *Met. Trans.* 7A, 1976, 831.
10. M. L. Jokl, Jun Kameda, C. J. McMahon Jr., V. Vitek, *Metals Science* 14, 1980, Aug-Sep. 375—384.
11. A. Cottrell, *Trans AIME*, 212, 1958, 192.
12. C. J. McMahon Jr. and V. Vitek, *Acta Met.* 27, 1979, 507—513.
13. H. H. Johnson, J. G. Morlet and A. R. Troiano, *Trans AIME* 212, 1958, 528.
14. T. Gladman, B. Holmers and J. D. McIvor, *Effect of Second Phase Particles on Mechanical Properties of Steel*, Iron and Steel Institute, London, 1971.
15. J. M. Hodge, R. H. Frazier and F. Boulger, *Trans. AIME*, 215, 1959, 745.
16. K. Wallin, diplomityö, TKK, 1982.
17. S. K. Banerji, and C. L. Briant, *Canadian Metallurgical Quarterly*, 18, 1980, 169—175.
18. F. B. Pickering, *Proceedings of the International Symposium on High-Strength Low-Alloy Steels*, Washington D. C., 1975.
19. R. O. Ritchie, *Metal. Trans.* 8A, 1977, 1131.
20. A. D. Wilson, *J. Pressure Vessel Technol.* 99, 1977, 459.

Summary → p. 61

Epämetallisten sulkeumien vaikutus teräksen kylmämuovattavuuteen

Dipl.ins. Iikka Lahti, Teknillinen korkeakoulu, Vuoriteollisuusosasto,

Metallien muokkauksen ja lämpökäsittelyn laboratorio, Otaniemi

JOHDANTO

Kuluneiden kahden vuosikymmenen aikana kylmämuovaus on vallannut alaa tuotantomenetelmänä ja vuoteen 2000 mennessä sen ennustetaan kehittyvän yhdeksi tärkeimmistä ja laajimmin käytetyistä tuotteenvalmistusmenetelmistä. /1/.

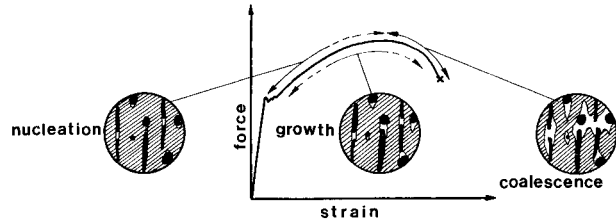
Kylmämuovaus on nopea, automaatioon soveltuva ja energiaa säästävä menetelmä mutta se asettaa korkeat laatuvaatimukset muovattavalle materiaalille. Tämä on yksi syy siihen, että tutkimus epäpuhtauksien vaikutuksista materiaaliominaisuuksiin on laajentunut. Toiseksi tiedon tarpeen lisääntymiseen vaikuttaa kasvava materiaalin kierrätys, joka tuo omat ongelmansa epäpuhtauksien rikastuessa kierron aikana.

Tutkimuksen edistyessä on huomattu, että epäpuhtauksien kontrollointi ja hallinta ovat materiaalin laadun perusta. Suurin osa vauriotapauksista joko käyttötilanteissa tai valmistusvaiheessa johtuu tavalla tai toisella epäpuhtauksista.

Epämetalliset sulkeumat ovat erityisen mielenkiintoinen epäpuhtauksien ryhmä vauriotutkimuksen kannalta. Ne vaikuttavat ratkaisevasti sekä sitkeään että hauraan murtuman syntyyn, materiaalin väsymiskestävyyteen, lasuttavuuteen, jopa korroosio-ominaisuuksiin, erityisesti jännityskorroosioon. Muovattavuuden kannalta merkittävä on sulkeumien materiaalin sitkeyttä heikentävä vaikutus.

Koska muovattavuus voi kuvata varsin erilaisia materiaaliominaisuuksia, on tarkoituksenmukaista lähemmin

tarkastella siihen vaikuttavia tekijöitä. Jos materiaalin muovattavuudella pyritään kuvaamaan kaikkia niitä aineominaisuuksia, joilla on vaikutusta muovaustapahtuman onnistumiseen, päädytään laajaan muovattavuuden käsitteeseen, jota kuvaamaan tarvitaan useita tunnusuuksia. Muovausta voi rajoittaa esim. voimantarve, muotintäyttökkyky, murtuminen tai työkalujen kuluminen. Alla olevassa kaaviossa on pyritty havainnollistamaan muovattavuuden laajaa käsitettä ja samalla rajattu se alue, jota seuraavassa on lähemmin tarkasteltu: epämetallisten sulkeumien vaikutus teräksen kylmämuovattavuuteen, kun muovattavuutta rajoittavana tekijänä on sitkeä murtuma.

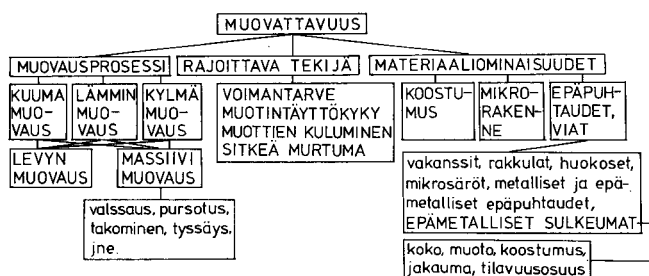


Kuva 1. Sitkeän murtumisen mekanismi.

Fig. 1. The mechanism of ductile fracture.

Kaavio 1. Muovattavuuteen vaikuttavat tekijät.

Scheme 1. Factors influencing formability.



MUUTTUJAT: lämpötila, muovausaste ja -nopeus, työkalujen muoto ja materiaali, muovattava materiaali ja voitelu.

Sitkeä murtuma, mekanismi ja ydintymispaikka

Jotta olisi mahdollista ymmärtää sulkeumien osuus materiaalin murtumisessa, on tunnettava murtumismekanismien pääpiirteet.

Sitkeä murtuma kehitty kolmessa vaiheessa: onkaloiden ydintyminen, kasvu ja yhdistyminen /2—5/ (kuva 1). Onkalot voivat ydintyä mihin tahansa materiaalin epähomogeenisuuspisteeseen, joita ovat esim. sulkeumat, toissijaisen faasin partikkelit (second phase particles), raerajat, erityisesti solmupisteet, koostumuserot jne. Käytännön kannalta tärkeimmät ovat kaksi ensin mainittua tekijää. Sulkeumiin ydintyvät onkalot voivat syntyä kahdella tavalla: sulkeuman murtumisen tai sulkeuman ja matriisin välisen rajapinnan pettämisen seurauksena. Ydintymistapa riippuu ennenkaikkea sulkeuman muodosta: venyneet sulkeumat yleensä murtuvat, kun taas tasa-akselisilla tapahtuu rajapinnan pettäminen /6, 7/.

Onkalojen kasvu tapahtuu deformaation edetessä ja on riippuvainen kokonaisvenymästä /8/ ja hydrostaattisen jännityskomponentin tai hydrostaattisen paineen arvosta /5/. Yleisimmin oletetaan onkaloiden yhdistymisen tapahtuvan, kun onkaloiden pituuden suhde niiden väliin etäisyyteen saavuttaa tietyn arvon. Tälle vakiolle ovat Gladman ja kumppanit /6/ saaneet tarkastelussaan arvon yksi, jota tukee myös kokeellisesti määritetty suhdearvo yhdistymisen hetkellä /7/.

Vaikka onkalot voivat muodostua mihin tahansa materiaalin epähomogeenisuuspisteeseen, on murtuman syntyminen tietyille alueille todennäköisempää kuin toisille. Tämä johtuu jännitys- ja muodonmuutostilan vaihteluista muovattavan kappaleen eri osissa, riippuen kappaleen muodosta, voiteluolosuhteista, lämpötilasta ja materiaaliominaisuuksista. Esimerkiksi vetokokeessa murtuma ydintyy sauvan keskiakselilla, kun taas tyssäyksessä materiaali peittää yleensä vapaan ulkopinnan läheisyydestä. Jos materiaali on jostain syystä heikkoa kappaleen siinä osassa, jonne jännitys- ja venymäkonsentraatiot syntyvät, kasvaa murtumisriski olennaisesti. Esimerkiksi kuonasulkeumien kasautuminen voi aiheuttaa kuvattunlaisen tilanteen.

KUONASULKEUMIEN VAIKUTUS SITKEÄN MURTUMAN SYNTYMISEEN

Teräkseen sulkeumina jäävän kuonan haittavaikutusten kontrolloimiseksi on kehitetty menetelmiä, joiden avulla voidaan seurata tuotteiden puhtaustasoa. Mikroskooppisissa menetelmissä valitaan tuotteesta näytteet, joista valmistetaan hieet. Hieitä tutkitaan valomikroskooppilla pienellä suurennuksella (yleensä 100x) ja kuonakenttiä verrataan standardien kuonakarttoihin, joissa kentät on luokiteltu pitoisuuden, sulkeumakoon ja kuonalaadun mukaan. Kun riittävä määrä kenttiä ja näytteitä on tutkittu, saadaan tulosten perusteella lasketuksi kuonan vaikeusastetta kuvaava tunnusluku, joka on verrannollinen teräkseen kuonapitoisuuteen ja usein ilmaistaankin prosentteina. Yleensä myös sulkeumien muoto ja laatu on pyritty ottamaan huomioon painokertoimien avulla. Eri standardeissa on tarkemmat ohjeet kuonamäärityksestä /8, 9/.

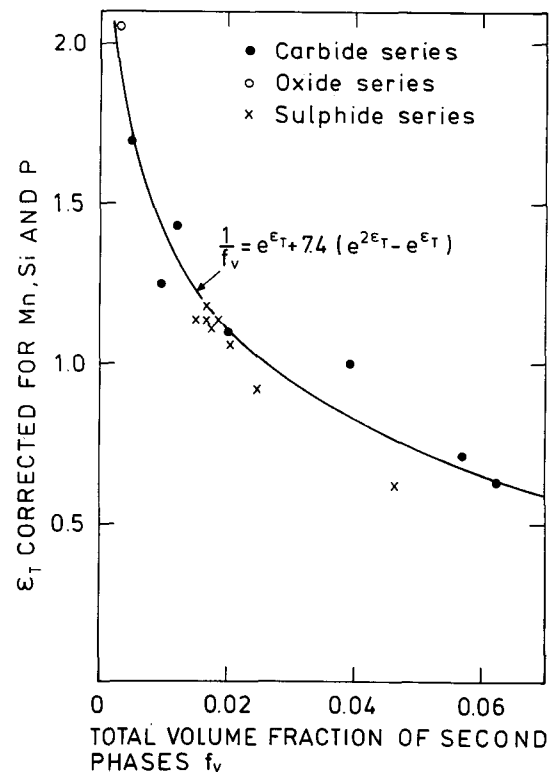
Koska yllä esitetyillä menetelmillä pyritään seuraamaan yhden sulatuksen suuruisen teräserän kuonapuhautta, ei kuonakasamiin kiinnitetä huomiota vaan määritetään keskiarvot. On selvää, että satunnaisilla sulkeumarykelmillä ei ole merkitystä kokonaisuuden kannalta. Tilanne on kuitenkin toinen, jos kuona jostain syystä pyrkii sellaiseen, säännönmukaiseen jakaumaan, jossa jotkin tuotteen osat sisältävät aina runsaammin sulkeumia kuin toiset (esim. pinta enemmän kuin sisus). Tällöin keskiarvo antaa liian positiivisen kuvan materiaalin laadusta ja ko. tapauksessa olisikin kiinnitettävä erityistä huomiota kuonakasamiin esimerkiksi määrittämällä kaksi erillistä kuonalukua.

Korkealuokkaisten laatuterästen puhtausvaatimusten täyttämisen edellyttää eritellympiä tietoja sulkeumien vaikutuksista. Eräiltä paineastiateräksiltä, vyörenkaiden tukimateriaaleilta, ei-rauta-metalleista elektrodimateriaaleilta vaaditaan erittäin suurta kuonapuhautta. Tällöin joudutaan miettimään seuraavia seikkoja: mikä on sulkeuman kriittinen koko, miten vaikuttavat sulkeumien

muoto ja kovuus, minkälaiset sulkeumat ovat vähiten haitallisia jne.? Seuraavassa on pyritty vastaamaan näihin kysymyksiin selvittämällä kuonapitoisuuden, sulkeumien koon, muodon, laadun, sulkeuman ja matriisin välisen sidoksen lujuuden sekä kuonan jakauman vaikutuksia sitkeän murtuman syntyyn.

Teräksen kuonapitoisuuden vaikutus sitkeyteen

Tärkein teräksen kuonaominaisuuksien kuvaaja on keskimääräinen kuonapitoisuus. Sen vaikutus teräksen lujuusominaisuuksiin on merkityksetön mutta sitkeysominaisuuksiin selvä ja yksiselitteinen: sitkeys laskee kuonapitoisuuden kasvaessa (kuva 2).



Kuva 2. Murtovenymän riippuvuus epämetallisten partikkelien tilavuusosuudesta (Gladmanin ja kumppanien mukaan /6/).

Fig. 2. Effect of carbides, oxides and sulphides on total strain to fracture (according to Gladman & al /6/).

Sulkeuman kriittinen koko

Yksittäisen sulkeuman suurimmalle sallitulle koolle on olemassa teräskohtaisia ohjearvoja sekä erilaisia, laadunvalvonnassa käytettäviä kokemusperäisiä arvoja, jotka vaihtelevat 30 μ m:stä 100 μ m:iin. Toistaiseksi ei ole esitetty mitään käytäntöön soveltuvaa laskentamenetelmää, jolla sulkeuman kriittinen koko voitaisiin tarkasti määrittää. Seuraavassa on tämä puute pyritty korjaamaan.

Sulkeuman ympäristöön kehittyvä häiriökenttä, joka vaikuttaa jännitys- ja venymäjakaumaan plastisessa deformaatioissa. Häiriökentän laajuus voi olla korkeintaan sen tilavuusalkion suuruinen, joka sisältää yhden sulkeu-

man (viereinen tilavuusalkio kuuluu toisen sulkeuman vaikutuspiiriin). Jos oletetaan, että kuona koostuu vakio-kokoisista, pallomaisista sulkeumista ja on homogeenisesti jakautunut materiaaliin, on ko. tilavuusalkion ts. häiriökentän koko helppo laskea. Saadaan kaavan (1) mukainen lauseke,

$$(1) V_0 = a_0^3 = (4\pi / 3f_v) r_0^3,$$

p.o. jossa V_0 on alkion tilavuus, a_0 sen sivu, r_0 sulkeuman säde ja f_v mitattu kuonapitoisuus.

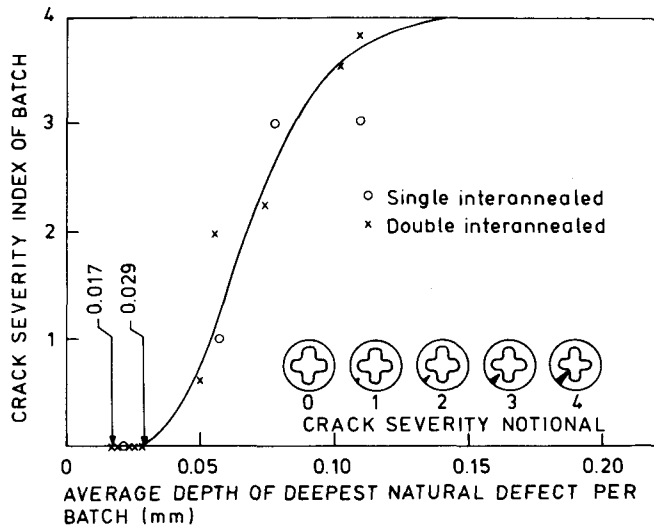
On osoitettu, että kokeellisesti voidaan määrittää suurin sallittu vikakoko, jolla ei vielä ole vaikutusta materiaalin murtumiseen /10/. Lisäksi on selvitetty, miten paljon tietyn kokoinen vika heikentää muovattavuutta /11—13/. Näin on voitu laatia taulukoita, joissa eri teräksille on esitetty kriittisiä vikakokoja muovattavuuden vaatimusasteesta riippuen (taulukko I). Kuvassa 3 on esitetty vikakoon vaikutus "tähtipääruuvien" murtumiseen tyssäyksessä. Valitsemalla sopiva taulukon I tai kuvan 3 vikakoon arvo sulkeuman vaikutuskentän suurimmaksi sallituksi arvoksi, voidaan sulkeuman kriittinen koko laskea. Merkitsemällä

$$(2) x_c = a_c = (4\pi / 3f_v)^{1/3} r_c,$$

jossa x_c on kriittinen vikakoko ja r_c kriittinen sulkeumakoko (säde), saadaan

$$(3) r_c = (3f_v/4\pi)^{1/3} x_c,$$

Taulukko I Vikakoon kriittisiä arvoja eri terästyypeille tyssäyksessä, kun muovattavuusvaatimuksena edellytetään 70 % tai 75 % korkeusreduktiota (A) tai sallitaan 5 % tai 10 % muovattavuuden lasku (B).



Kuva 3. Pintavian syvyyden vaikutus murtuman vaikeusasteeseen "tähtipääruuvien" tyssäyksessä. Materiaali: 0,13/0,18 C, 0,50/0,70 Mg, kylmätysäysteräs. (MacQuarrie'n ja Battle'n mukaan /10/).

Fig. 3. Relationship between defect depth and degree of cracking in Pozidriv pan-head, for single and double interannealed 0,13/0,18 C, 0,50/0,70 Mg calcium silicide restricted rimming cold heading wire (according to MacQuarrie and Battle /10/).

Table I Estimated values of allowable depths of wire defect in upsetting /13/.

Unit: mm

Steel	C %	Definition (A)						Definition (B)					
		70 %			75 %			—5 %			—10 %		
		I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III
Si-Al killed steel	0.10	0.15	0.25	0.30	0.10	0.16	0.20	0.04	0.05	0.07	0.07	0.11	0.13
	0.15	0.13	0.22	0.28	0.09	0.14	0.18	0.04	0.05	0.06	0.07	0.10	0.11
	0.20	0.12	0.20	0.26	0.07	0.13	0.16	0.03	0.05	0.06	0.06	0.10	0.11
	0.25	0.10	0.17	0.22	0.06	0.11	0.14	0.03	0.04	0.05	0.06	0.09	0.10
	0.30	0.09	0.15	0.20	0.05	0.09	0.12	0.03	0.04	0.05	0.06	0.09	0.10
	0.35	0.07	0.12	0.16	0.03	0.07	0.10	0.03	0.04	0.04	0.06	0.08	0.09
	0.40	0.06	0.10	0.14	0.03	0.06	0.08	0.03	0.04	0.04	0.06	0.08	0.09
0.45	0.04	0.07	0.10	0.03	0.04	0.04	0.03	0.04	0.04	0.05	0.08	0.08	
Al killed steel	0.05	0.20	0.26	0.42	0.12	0.18	0.38	0.04	0.05	0.08	0.08	0.11	0.13
	0.10	0.18	0.25	0.36	0.10	0.16	0.30	0.04	0.05	0.07	0.07	0.11	0.13
	0.15	0.13	0.23	0.30	0.09	0.14	0.20	0.04	0.05	0.06	0.06	0.10	0.12
	0.20	0.12	0.21	0.26	0.07	0.13	0.16	0.03	0.05	0.05	0.06	0.10	0.11
	0.25	0.10	0.18	0.22	0.06	0.11	0.14	0.03	0.04	0.05	0.06	0.09	0.10
Si killed steel	0.20	0.10	0.18	0.24	0.06	0.11	0.15	0.03	0.04	0.04	0.06	0.09	0.09
	0.25	0.09	0.15	0.20	0.05	0.09	0.12	0.03	0.04	0.04	0.06	0.08	0.09
	0.30	0.07	0.14	0.16	0.04	0.08	0.10	0.03	0.03	0.03	0.06	0.08	0.08
	0.35	0.05	0.12	0.12	0.03	0.06	0.06	0.03	0.03	0.03	0.06	0.07	0.08
	0.40	0.03	0.10	0.08	0.03	0.05	0.04	0.03	0.03	0.03	0.06	0.07	0.08
Rimmed steel	0.10	0.14	0.32	0.44	0.08	0.18	0.32	0.03	0.04	0.05	0.07	0.09	0.11
	0.15	0.12	0.28	0.36	0.07	0.15	0.24	0.03	0.04	0.05	0.07	0.09	0.10
	0.20	0.10	0.24	0.30	0.06	0.13	0.18	0.03	0.04	0.04	0.06	0.09	0.09

I: as drawing
II: spheroidizing
III: size drawing after spheroidizing

Taulukossa II on esitetty kaavan (3) avulla laskettuja r_c -arvoja eri kuonapitoisuuksilla ja eri muovattavuusvaatimuksiin perustuvilla x_c -arvoilla.

Taulukko II Sulkeumakoon kriittisiä arvoja

Table II Critical inclusion sizes

Epämetallisten partikkelien tilavuusosuus	Sulkeuman suurin sallittu läpimitta, $2r_c$ (μm), eri muovattavuusvaatimuksille (eri muov. vaatimuksia ja teräksiä vastaavat vikakoon kriittiset arvot, x_c , saadaan taulukosta I).			
	$x_c = 0.03$	$x_c = 0.05$	$x_c = 0.12$	$x_c = 0.28$
0.001	3.7	6.2	14.9	34.7
0.010	8.0	13.4	32.1	74.8
0.040	12.7	21.2	50.9	118.8
0.060	14.5	24.3	58.3	136.0
0.100	17.3	28.8	69.1	161.2

Kaava (3) antaa sulkeumakoon kriittisen arvon kuonapitoisuuden funktiona. On kuitenkin ilmeistä, että sulkeuman aiheuttama häiriö on riippumaton kuonapitoisuudesta aina siihen sulkeumatihyteen saakka, jolloin vierekkäisten sulkeumien häiriökentät koskettavat toisiaan. Tämän vuoksi laskelmiin on järkevää valita kuonapitoisuuden arvo, joka vastaa häiriökenttien kosketuksen alkuhetkeä. Argonin ja Imin mukaan /14/ ko. tilannetta vastaa kuonapitoisuuden arvo n. 0.06 (viivoitettu rivi, Taulukko II). Käytettäessä ko. arvoa pelkistyy kaava (3) käyttökelpoiseen ja erittäin yksinkertaiseen muotoon:

$$(4) r_c = 0.243 \cdot x_c.$$

Toisin sanoen sulkeumalla on sama vaikutus kuin n. kaksi kertaa suuremmalla säröllä.

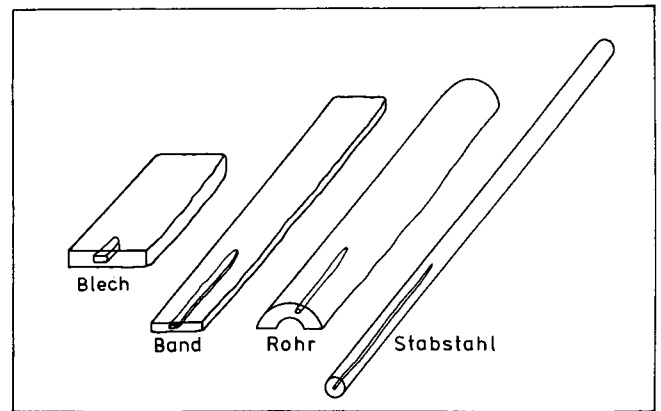
Kaavasta (4) saadut sulkeumakoon kriittiset arvot vastaavat hyvin kokemuksen perusteella noudatettuja rajoja. Esimerkiksi pehmeäksihehkutetulle, 0.15 % hiiltä sisältävälle teräkselle saadaan: ehdoton vaatimus (0 % aleneminen muovattavuudessa): $2r_c = 14.5 \mu\text{m}$, 5 % aleneminen muovattavuudessa: $2r_c = 24.3 \mu\text{m}$ ja 10 % aleneminen muovattavuudessa: $2r_c = 48.6 \mu\text{m}$.

On kuitenkin huomattava, että se kuonapitoisuus, joka vastaa häiriökenttien kosketuksen alkuhetkeä, on riippuvainen sulkeuman muodosta ja plastisuudesta. Niinpä kaava (4) pätee vain yllä esitettyjen yksinkertaistavien oletusten edellyttämässä rajoissa, jotka ovat:

- 1) sulkeumat ovat pallomaisia ja muovautumattomia,
- 2) tulokset pätevät kylmätöyssäyksessä ja vastaavissa tapauksissa,
- 3) kriittisen sulkeuman on sijaittava muovausprosessin määräämällä kriittisellä alueella (katso JOHDANTO). Muussa tapauksessa sulkeuman aiheuttama haitta on esitettyä vähäisempi.

Sulkeumien muodon vaikutus sitkeän murtuman syntyyn

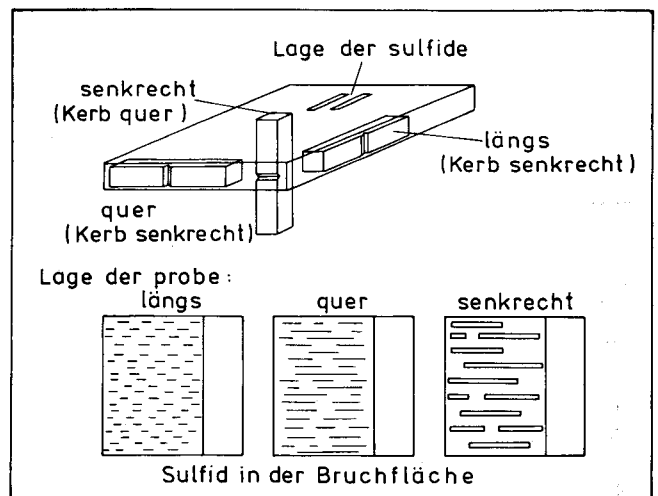
Useimmat epämetalliset sulkeumat ovat muovautuvia teräksen kuumamuokkauslämpötiloissa. Tästä johtuu, että ne pyrkivät omaksumaan kuumamuokatun tuotteen muodon (kuva 4) /15/.



Kuva 4. Sulkeumien muoto eri tuotetyypeissä (Dahlin mukaan /15/).

Fig. 4. Shapes of the sulphides of various product shapes (according to Dahl /15/).

Tämän seurauksena kuonapitoisuus kappaleen eri tasoilla vaihtelee (kuva 5) /16/.

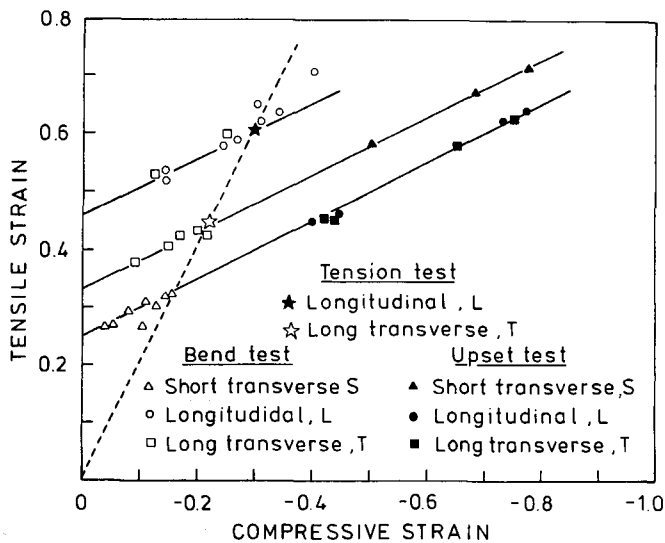


Kuva 5. Sulkeuman muodosta aiheutuvat orientaatioerot eri suuntaisilla murtopinnoilla (Dahlin, Hengstenbergin ja Dürenin mukaan /16/).

Fig. 5. Correlation between the shape of the sulphides and the position of the specimen in the sheet (according to Dahl, Hengstenberg and Düren /16/).

Jos suurin vetojännitys kylmämuovauksessa sattuu kohtisuoraan maksimi kuonatasoa vastaan, sulkeuma irttoa helposti matriisista, jolloin syntyy suuri sisäinen repeämä, joka yhdistyessään toisiin synnyttää nopeasti murtuman. Jos taas maksimi vetojännityssuunta yhtyy sulkeumien pituusakselin suuntaan, sulkeuma pyrkii ensin katkeamaan muodostaen pienempiä onkaloita. Vasta plastisen instabiilisuuden jälkeen tulee rajapintojen pettäminen todennäköiseksi. Näin ollen on ymmärrettävää, että venyneiden sulkeumien vaikutuksesta materiaalin muovattavuus eri suunnissa on erilainen. Kuvassa 6 on esitetty eri suuntaisten koekappaleiden rajavenymät (pintavenymät murtumishetkellä) veto-, taivutus- ja puris-

tuskokeilla määritettyinä /17/. Voidaan havaita, että muodostuu kolme selvästi erillistä murtumistasoa, jotka vastaavat kuvassa 5 esitettyjä, kolmea eri kuonapitoisuustasoa.



Kuva 6. Rajavenymäkombinaatiot eri koesuunnissa puristus-, veto- ja taivutuskokeilla (Suhin ja Kuhnin mukaan /17/).

Fig. 6. Surface strain combinations at fracture for upset, tension and bend tests (according to Suh and Kuhn /17/).

Kuonajakauman vaikutus sitkeän murtuman syntyyn

Teräksen rakenteen homogeenisuus riippuu valmistuspraktiikasta. Tiivistämättömässä teräksessä epäpuhtaudet pyrkivät suotautumaan valun sisäosaan. Tasalaatuisempaan tulokseen päästään estämällä ilman pääsy kookilliin kannen avulla tai tiivistämällä teräs. Jos muovattavuusvaatimukset ovat poikkeuksellisen korkeat, teräksen laatua voidaan parantaa erikoismenetelmin hapenpoistovaiheessa (kaasuhuuhtelu, kuonainjektointi). Yleensä pyritään valmistamaan rakenteeltaan mahdollisimman tasalaatuista terästä. Joskus kuitenkin voidaan tiivistämättömän teräksen pintaosaan muodostuvaa sitkeää, pehmeää ferriittikerrosta hyödyntää vaikeissa muovaustapauksissa, kun tuote ei joudu vaativaan käyttöön. Lisäksi työkalujen kestoikä paranee.

Kuonan kasautumisessa voidaan erottaa kaksi erilaista tapausta: toinen, jossa erillisiä sulkeumia esiintyy normaalia tiheimmässä muodostaen satunnaisen sulkeumarykelmän ja toinen, jossa kuona pyrkii säännönmukaisesti kasautumaan tuotteen joihinkin osiin. Ensimmäistä tapausta voidaan kutsua mikroskooppisen jakauman häiriöksi. Tällöin sitkeään murtumaan liittyvä onkaloiden yhdistyminen nopeutuu, koska sulkeumien välinen etäisyys on paikallisesti pienentynyt. Vaikutus on kuitenkin vähäinen ja häviää sen vuoksi tilastolliseen hajontaan. Jälkimmäistä tapausta voidaan kutsua geometrisen jakauman häiriöksi. Tällöin kuonan kasautuminen on vaarallisempi ilmiö ja johtaa makrosulkeumien ja kuonakasauumien muodostumiseen. Pahimmassa tapauksessa murtuma voi syntyä välittömästi plastisen deformaation levittyä ko. alueelle materiaalin mekaanisten ja fysikaalisten ominaisuuksien huonontumisen takia.

Käytännön kannalta kuonajakauman satunnaishäiriöt ovat merkityksettömiä, kun taas geometrisen jakauman

häiriöt ovat erittäin haitallisia, koska tällöin koko sulatuksen tietyt osat sisältävät normaalia runsaammin kuonaa aiheuttaen näin materiaalin sitkeyden yleisen heikkenemisen. Toisaalta ideaalitapauksissa voitaisiin kontrolloitua geometrista kuonan kasautumista hyödyntää. Yhtenä esimerkkinä on jo mainittu tiivistämättömän teräksen käyttö pintamuovattavuutta vaativissa tapauksissa. Samoin, jos suurin osa kuonasta saataisiin kasautumaan aivan pinnan läheisyyteen, voitaisiin näin syntyneitä materiaalia käyttää lastuamalla valmistettaviin kappaleisiin. Etuna olisi tuotteeseen jäljelle jäävän materiaalin korkea puhtausaste sekä pintaosan lastuttavuuden paraneminen kohonneen kuonapitoisuuden ansiosta edellyttäen, että kuona sisältää runsaasti pehmeitä MnS-sulkeumia tai vastaavia.

Matriisin ja sulkeuman välisen rajapinnan lujuus ja sen vaikutus sitkeän murtuman syntyyn

On ymmärrettävää, että erilaisten teräksessä olevien partikkulien ja matriisin välisen rajapinnan lujuuden mittaaminen on hankalaa, koska jännitystilän määrittäminen pienellä alueella paikallisena on mahdollista vain teoreettisiin tarkasteluihin nojautuen. Rajapinnan lujuudesta kuitenkin riippuu olennaisesti sitkeän murtuman ydintyminen. Toistaiseksi on saatavilla varsin vähän kvantitatiivista tietoa, mutta verrattain luotettavia, joskin työläitä määritysmenetelmiä on kehitetty /5, 14/. Esimerkkinä voidaan mainita sementtiin ja teräsmatriisin välisen sidoksen lujuus, jolle on laskettu arvoja 1200 MPa /5/ — 1700 MPa /14/. Vastaavat arvot oksidi- ja sulfiditulkeumille ovat huomattavasti pienempiä /5/.

Vaikka eksakti kvantitatiivinen tieto on tässä suhteessa vähäistä, voidaan karkeita päätelmiä eri sulkeumatyyppien haitallisuudesta tehdä tutkimalla jäähtymisen aikana sulkeumien ympäristöön syntyviä jäännösjännityksiä ja sulkeumien plastisuutta eri lämpötiloissa.

Alla olevassa taulukossa on esitetty eri sulkeumatyyppien lämpölaajenemiskertoimen arvoja, jotka määräävät sulkeumien ympärille jäähtymisen aikana muodostuvien jäännösjännitysten suuruuden.

Taulukko III Lineaarisia lämpölaajenemiskertoimia eri sulkeumatyypeille (Brooksbankin ja Andrewsinkin mukaan /18/).

Table III Mean coefficients of linear expansion of inclusion materials (according to Brooksbank and Andrews /18/).

Inclusion type	Material	Mean expansion coefficient (0—700°C) ($\times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$)	
(i) Nitrides	TiN	9.4 (± 0.4)	
	(ii) Sulphides	MnS	18.1 (± 0.2)
		Al_2O_3	= 8.0
(iii) Alumina types	Cr_2O_3	8.6 (± 0.4) (a-axis)	
		6.6 (± 0.3) (c-axis)	
(iv) Oxides	$\text{MnO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$	= 7.9 (± 0.4)	
		MnO	14.1 (± 0.2)
		MgO	13.5
		CaO	13.5
		MgO · Al ₂ O ₃	8.4

Kun tiedetään, että tilavuuden muutos ferriittisillä teräksillä vastaa laajenemiskertoimen arvoa $14,8 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ ja teräksillä, joilla tapahtuu austeniitti-martensiitti-transformaatio arvoa $12,5 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ /19/, voidaan sulkeumaan ja sen ympäristöön syntyviä jäännösjännityksiä analysoida kvalitatiivisesti.

1) Alumiinioksidityyppisten sulkeumien (Al_2O_3 , Cr_2O_3) pieni lämpölaajenemiskerroin saa aikaan maksimaalisten puristavien jäännösjännitysten kehittymisen.

2) Aluminaattien ($MnO \cdot Al_2O_3$, $MgO \cdot Al_2O_3$) ja titaani- nitridien (TiN) ympäristöön syntyy vetojännitysten lisäksi hiukan pienempiä puristusjäännösjännityksiä kuin alumiinioksidien vaikutuksesta.

3) XO-tyypin (X=Mn, Fe, Mg) tilavuudenmuutokset vastaavat melko tarkkaan teräsmatriisissa tapahtuvia, joten jäännösjännitykset jäävät merkityksettömän pieniksi.

4) Mangaanisulfidit kutistuvat matriisia nopeammin, jolloin seurauksena on pääasiallisesti vetojäännösjännitysten kehittyminen, mahdollisesti jopa onkaloiden muodostuminen jo teräksen jäähtymisen seurauksena.

5) Varsin yleinen on sulkeuma, jossa alumiinioksidi- tai aluminaattisulkeuman ympärillä on mangaanisulfidikuori. Koska MnS kutistuu matriisia nopeammin, se kompensoi alumiinioksidin tai aluminaatin aiheuttamaa "laajenemista" (suhteessa matriisiin) pienentäen jäännösjännityksiä, parhaassa tapauksessa hävittäen ne kokonaan.

Toinen sulkeumien ominaisuus, joka vaikuttaa olennaisesti sulkeumaan tai sulkeuma-matriisi-rajapintaan kohdistuvaan rasitukseen on sulkeumien plastisuus.

Taulukosta IV /19/ nähdään pääsulkeumatyyppien suhteelliset plastisuusarvot ($\gamma = 2 \cdot h_i / h_m$, jossa γ on suhteellinen plastisuus, h_i sulkeuman kovuus ja h_m matriisin kovuus). Kun $\gamma = 1$, sulkeuma ja matriisi deformoituvat samassa suhteessa.

Taulukko IV. Eri sulkeumatyyppien suhteellisen plastisuuden arvoja (Bakerin, Goven ja Charlesin mukaan /19/).

Table IV. Relationship between inclusion behaviour and relative hardness (according to Baker, Gove and Charles /19/).

Relative plasticity	Relative hardness h_i/h_m	Type of inclusion system
1 1.95	0	Water filled holes in plasticine
2 1.9—2.0	0	Silicate inclusions 1000°C
3 1.74	0.16	Copper rods in steel matrix 900°C
4 1.46	0.38	Copper rods in steel matrix 700°C
5 1.45	0.38	MnS inclusions 340°C
6 1.25	0.85	MnS inclusions 800°C
7 1.16	0.91	MnS inclusions 20°C
8 1.08	0.93	MnS inclusions 650°C
9 1.00	1.00	Steel rods in steel matrix 900°C
10 0.83	1.21	MnS inclusions 700°C
11 0—0.2	1.9—2.1	Silicate inclusions 800°C
12 0—0.1	2.0	Silicate inclusions 800°C Tungsten rods in steel 700°C

Kirjallisuudesta poimittujen tulosten yhteenvedona voidaan sulkeumien plastisuudesta todeta seuraavaa:

1) FeO, MnO, (Fe, Mn) O-sulkeumat ovat hyvin muovautuvia huoneen lämpötilasta aina 400°C saakka, jonka jälkeen ne tulevat vähitellen huomattavasti muovautuviksi (verrattuna teräsmatriisin muovattavuuteen) lämpötilan kohotessa.

2) Al_2O_3 ja Ca-aluminaatit ovat käytännöllisesti katsoen muovautumattomia kaikissa teräksen valmistusta koskeissa lämpötiloissa.

3) Silikaatit ovat muovautumattomia huoneen lämpö-

tilassa mutta kuumamuokkauslämpötiloissa (800—1300°C) muuttuvat erittäin hyvin muovautuviksi.

4) MnS-sulkeumat muovautuvat suunnilleen samassa suhteessa teräsmatriisin kanssa aina 1000°C saakka, jonka jälkeen niiden muovautuvuus vähitellen heikkenee.

Teräksen muokkauksen ja muovauksen kannalta on edullista, että sulkeumaan ja sen ympäristöön ei synny jäännösjännityksiä, että sulkeuman plastiset ominaisuudet ovat samat kuin teräsmatriisin ja että sulkeuma säilyttää pallomaisen muotonsa kuumamuokkauksen aikana. Kaksi viimeksi mainittua ehtoa, jotka molemmat riippuvat sulkeuman plastisuudesta, ovat selvästi ristiriitaisia: sulkeuma voi joko muovautua samassa suhteessa matriisin kanssa tai säilyttää muotonsa. Kuumamuokkauksessa kova, muotonsa pitävä sulkeuma 'jauhaa' teräsmatriisia. Toisaalta venyneet sulkeumat, joutuessaan kylmämuovauksessa epäedulliseen asemaan jännitystilaan nähden, edistävät murtuman syntymistä. Seuraavassa tarkastelussa, jossa on edellä esitettyjen seikkojen perusteella arvosteltu sulkeumien haitallisuutta, on arvioitu vähemmän vahingolliseksi se, että sulkeuma ei muovaudu kuumamuokkauksessa, koska teräksen sitkeys on huomattavasti parempi korkeissa lämpötiloissa kuin huoneen lämpötilassa.

1) FeO, MnO, (Fe, Mn)O sulkeumien käyttäytyminen on paras mahdollinen: lämpötilan kohotessa suhteellinen plastisuus laskee, joten sulkeumien muoto pyrkii säilymään kuumamuokkauksessa. Lisäksi lämpölaajenemiskerroin aiheuttaa sulkeumalle suunnilleen saman tilavuuden muutoksen kuin teräksen tilavuuden muutos jäähtymisen seurauksena. Näin ollen sulkeuman voi olettaa käyttäytyvän huomaamattomasti teräksen muovauksessa.

2) MnS-sulkeuman plastinen käyttäytyminen muistuttaa paljon edellä esitetyn sulkeumatyyppien vastaavaa. Hyvä muovautuvuus aina 1000°C saakka aiheuttaa kuitenkin sulkeuman venymisen kuumamuokkauksessa. Jäähtymisen aikana syntyvät vetojäännösjännitykset helpottavat sulkeuman irtoamista matriisista, mikä edistää murtumista kylmämuovauksessa. Toisaalta on todettu, että MnS-sulkeumien osuutta lisäämällä voidaan parantaa teräksen väsymiskestävyttä /18/. Tämä saattaa osittain johtua sulkeuman venyneestä muodosta, jolloin jännityshuiput sulkeuman ympäristössä ovat pienempiä kuin tasa-akselisella sulkeumalla, mutta ennenkaikkea se johtuu hyvästä muovautuvuudesta vielä huoneen lämpötilasakin.

3) Al_2O_3 -sulkeuman ja aluminaattien muovautumattomuus edistää murtuman syntymistä kylmämuovauksessa. Tasa-akselinen muoto ja muovautumattomuus yhdessä synnyttävät suuria jännityshuippuja sulkeuman ympäristöön. Myös suuret jäähtymisjäännösjännitykset edistävät murtuman kehittymistä. Toisaalta mekaaniset ominaisuudet eri suunnissa pysyvät samoina. Kuonatyyppien haitallisuus on riippuvainen sulkeumien koosta. Hienojakoisena kuonatyyppi voidaan luokitella korkeintaan haitalliseksi mutta karkeajakoisena erittäin haitalliseksi.

4) Silikaatit esiintyvät jonoina tai venyneinä sulkeumina johtuen hyvästä muovautuvuudesta kuumamuokauslämpötiloissa. Epäedullinen muoto ja muovautumattomuus huoneen lämpötilassa tekevät sulkeumatyyppistä erittäin haitallisen kylmämuovauksen kannalta.

5) Sekasulkeuma, jossa on MnS-kuori ja Al_2O_3 - tai aluminaattisisus on vaarattomampi kuin pelkkä kova kuonapartikkeli, koska pehmeä pinta tasoittaa sisustasta teräsmatriisiin heijastuvia häiriöitä. Myös jäännösjännityk-

set muodostuvat pienemmiksi kuin kummallakin sulkeumatyyppillä yksinään. Lisäksi sulkeuman muoto säilyy edullisempänä kuin pelkällä MnS-sulkeumalla. Kylmämuovattavuuden kannalta sekasulkeumaa voidaan pitää melko vaarattomana.

Taulukossa V on esitetty lyhyt yhteenveto eri sulkeumatyyppien haitallisuudesta kylmämuovauksessa.

Taulukko V. Sulkeumien haitallisuusluokitus kylmämuovauksessa.

Table V. Classification of the inclusions according to their harmfulness in cold forming.

Sulkeumatyyppi	Täsmennys	I	II	III	IV
(Mn, Mg, Fe) O MnS, venynyt tai jono	— epäedullinen orientaatio	X			X
	— edullinen orientaatio		X		
Al ₂ O ₃ ,	— karkea- jakoinen				X
Ca-alumiinaatit	— hieno- jakoinen			X	
Silikaatit Sekasulkeuma (MnS+Al ₂ O ₃ , Ca-alumiinaatti)			X		X

I: huomaamattomasti käyttäytyvä

II: vähemmän haitallinen

III: haitallinen

IV: erittäin haitallinen

TERÄKSEN KUONAPITOISUUDEN VAIKUTUS RAJAVENYMIIN TYSSÄYKSESSÄ

Kuten JOHDANTO-osassa esitettiin, muovattavuus ei ole pelkkä materiaaliominaisuus vaan siihen vaikuttavat olennaisesti muovausprosessin muuttujat kuten työkalujen muoto, voiteluolosuhteet ja lähtöaihion muoto. Edellä on esitetty pääasiassa epämetallisten sulkeumien yleispäteviä vaikutuksia teräksen murtumiseen kylmämuovauksessa. Seuraavassa on pyritty lähemmin tarkastelemaan kuonaominaisuuksien ja prosessimuuttujien yhteisvaikutuksia sekä selvittämään materiaalin käyttäytymisen syitä kylmätysssäyksessä.

Rajamuovattavuuspiirros

Rajamuovattavuuskäyrä on niiden pisteiden ura, joka on murtumaan johtavan matkan etäisyydellä origosta eri deformaatiopolkuja pitkin päävenymäkoordinaatistossa mitattuna.

Murtumaan johtava matka eri deformaatiopoluilla ei ole vakio vaan riippuu monista, toistaiseksi hallitsemattomista seikoista. Tästä johtuu, että useista yrityksistä huolimatta /20—25/ rajamuovattavuuspiirrosta ei ole riittävän luotettavasti onnistuttu teoreettisesti määrittämään.

Kokeellisesti rajamuovattavuuspiirroksen konstruointi tapahtuu seuraavasti. Muovattavan kappaleen vapaalle pinnalle syövytetään tai muutoin kiinnitetään merkkikuvio, joka voi koostua ympyröistä, neliöistä, pisteistä ym. Tarkoituksenmukaisin menetelmä valitaan tapaus tapaukselta. Kappaletta muovataan kunnes vapaa pinta murtuu. Rajavenymät saadaan selville mittaamalla lähimpänä murtumaa olevien merkkien päävenymien suuntaiset mittamuutokset tai pisteiden väliset etäisyysmuutokset. Työkalujen tai aihion muotoa tai voiteluolosuhteita muuttamalla saadaan deformaatio kulkemaan toista polkua pitkin murtumaan, joka antaa uuden pisteen rajamuovattavuuskäyrältä.

Rajamuovattavuuspiirroksia on alunperin otettu käyttöön autoteollisuudessa ohutlevyn muovauksen apuvälineeksi /26/. Myöhemmin käyttö on yleistynyt myös ns. massiivi muovausprosesseissa (valssaus, pursotus, tyssäys, takominen jne.). Näitä tapauksia varten rajamuovattavuuspiirros on yleensä konstruoitu puristuskokeen avulla, jonka on todettu antavan hyvän arvion muovattavuudesta muillakin massiivi muovausmenetelmillä /17, 27, 28/. Rajamuovattavuuspiirroksen käyttöä käytännön muovausmateriaalinsuunnittelussa vaikeuttaa se, että murtumiseen vaikuttaa olennaisesti kuljettu deformaatiopolku. Monimutkaisissa muovaustapauksissa materiaali voi murtua vaikka rajavenymät jäisivät sille määritetyn muovattavuuskäyrän alapuolelle.

Kuonapitoisuuden vaikutus rajavenymiin tyssäyksessä

Jokaisella materiaalilla on sille ominainen rajamuovattavuuskäyränsä, joka eroaa toisen materiaalin samalla tavalla määritetystä käyrästä sijaintitasoltaan. Rajakäyrän muodon määrää käytetty menetelmä, kun taas sijaintitaso riippuu materiaalin muovattavuudesta. Tämän takia voidaan olettaa, että materiaalin muovattavuuden muuttuessa myös rajamuovattavuuskäyrän taso muuttuu. Koska teräksen kuonapitoisuus vaikuttaa selvästi sitkeysominaisuuksiin, on todennäköistä, että pelkät teräksen kuonaominaisuuksien muutokset näkyvät rajamuovattavuuspiirroksissa. Seuraavassa on tutkittu erään niukkahiilisen, kylmämuovattavan teräksen kuonaominaisuuksiltaan eroavien sulatusten käyttäytymistä kylmätysssäyksessä. Tulokset perustuvat viitteeseen /29/.

Viiden eri sulatuksen kuonatyypit (pitoisuus, jakauma ja koostumus) määritettiin. Muovattavuudet mitattiin yksiakselisella vetokokeella ja puristuskokeella, jossa rajamuovattavuuspiirroksen määrittämiseksi koelosuhteisiin vaikutettiin kitkakerrointa ja sylinterimäisen koe-kappaleen korkeus-halkaisijasuhdetta muuttamalla. Sulatuksista on käytetty kirjaintunnuksia, joista A ja B ovat vähäkuonaisia, homogeenisiä sulatuksia, sulatuksen C kuonasta poikkeuksellisen suuri osa on MnS-sulkeumia ja sulatusten D ja E kuona on vahvasti pyrkinyt kasautumaan tuotteen pintaosiin.

Taulukossa VI on esitetty vetokoetulokset, taulukossa VII kuonamääritystulokset ja taulukossa VIII puristuskokeen kriittiset reduktiot (konkeusreduktio murtumishetkellä, R_c) kahdessa eri tapauksessa.

Taulukko VI. Vetokoetulokset.

Table VI. Tensile test results.

Sulatus	R _m (MPa)	R _{p0.2} (MPa)	A ₅ (%)	Z (%)	n	K (MPa)
A	516	319	32.5	71.2	0.224	941
B	507	328	31.7	70.8	0.221	925
C	475	291	32.9	65.6	0.268	985
D	491	278	34.5	71.4	0.266	1010
E	542	336	29.5	67.8	0.194	935

Taulukko VII. Kuonamääritystulokset.

Table VII. Inclusion count results.

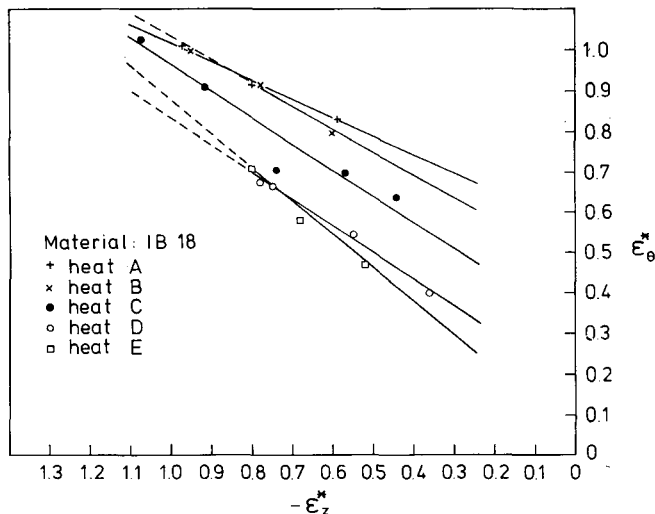
Sulatus	Pintaosan kuonapit. (%)	Keskim. kuonapit. (%)
A	0.18	0.18
B	0.19	0.15
C	0.20	0.15
D	0.34	0.21
E	0.28	0.17

Taulukko VIII. Puristuskoetulokset (kriittiset reduktiot, R_c (%)).

Table VIII. Upset test results (critical reductions, R_c (%)).

Sulatus	Sileät työkalut ($\mu=0.18$)	Karheat työkalut ($\mu=0.57$)
A	88.2	82.3
B	87.5	78.4
C	84.8	75.6
D	72.1	62.7
E	74.5	61.0

Kuvassa 7 on esitetty koeteräksestä valittujen sulatusten rajamuovattavuuspiirroksat. Koepisteet vastaavat eri voitelu- ja kitkaolosuhteita ja muovattavuuskäyrät on määritetty lineaarisen regression avulla. Lähimpänä ϵ_θ -akselia olevat pisteet vastaavat vaikeimpia muovausolosuhteita ts. suurinta kitkakertoimen arvoa ja matalinta koekappaletta. Vastaavasti lähinnä ϵ_z -akselia ovat epäpuhtaimpien (kuonapitoisuuden pinta-arvo) sulatusten rajamuovattavuuskäyrät.



Kuva 7. Sulkeumaominaisuuksiltaan eroavien sulatusten rajamuovattavuuspiirroksat (Lahden ja Sulosen mukaan /29/).

Fig. 7. Forming limit curves for the test materials (according to Lahti and Sulonen /29/).

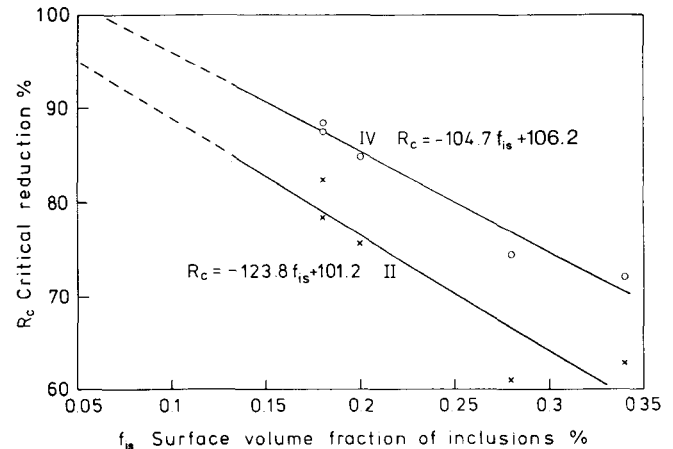
Tulosten perusteella voidaan todeta, että vetokoe ja puristuskoete antavat selvästi ristiriitaisia arvioita sulatusten paremmuusjärjestyksestä muovauksen kannalta (Taulukko IX). Jopa vetokokeen sisällä järjestyksessä on eroja sitkeysparametrin riippuen.

Taulukko IX. Muovattavuuden perusteella sulatuksille määritetty paremmuusjärjestys puristus- ja vetokokeissa.

Table IX. The superiority of the heats according to their formabilities in the upset and tension tests.

Paremm. järj.	Pur.koe (R_c)	Vetokoe (A_s)	Vetokoe (Z)
1	A	D	D
2	B	C	A
3	C	A	B
4	D	B	E
5	E	E	C

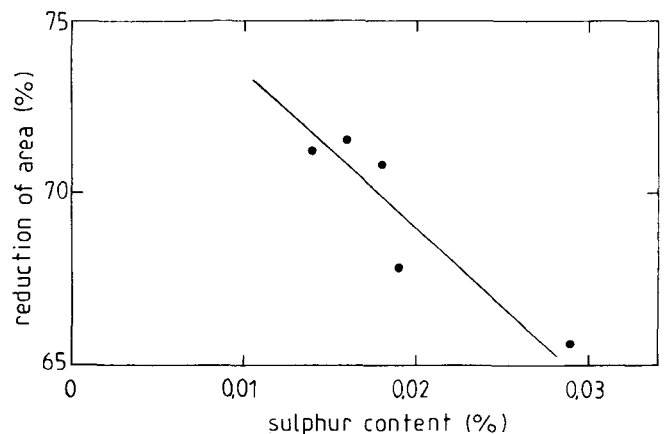
Kuonamääritystulosten perusteella näyttää selvältä, että sulkeumat ovat pyrkineet kasautumaan tuotteen pintaosiin. Ilmiö on erittäin haitallinen tyssäyksen kannalta koska murtuma ydintyy vapaan ulkopinnan läheisyydessä. Tästä johtuu, että tyssäytyys (R_c) on voimakkaasti riippuvainen kuonapitoisuuden pinta-arvosta (kuva 8).



Kuva 8. Puristuskoeteella määritetty kriittinen reduktio (korkeusreduktio murtumishetkellä) koekappaleen pintaosan kuonapitoisuuden funktiona (Lahden ja Sulosen mukaan /29/).

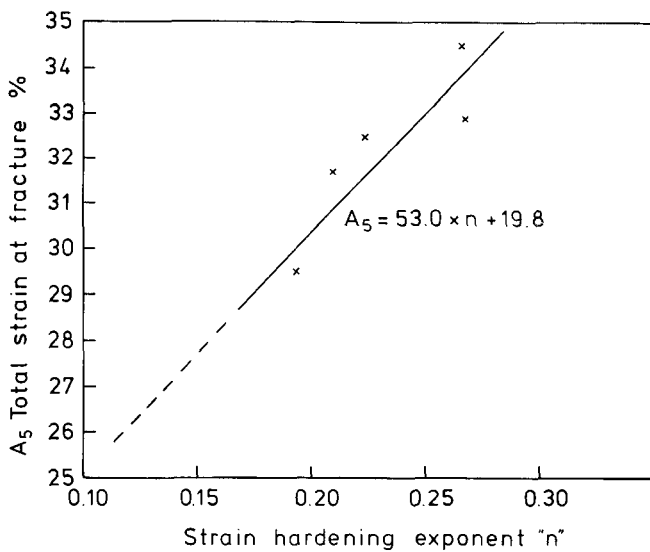
Fig. 8. Correlation between critical reduction and volume fraction of inclusions in the vicinity of the free surface of the specimen in the forming conditions II and IV (according to Lahti and Sulonen /29/).

Minkäänlaista kuonan kasautumista tuotteen sisäosiin ei havaittu. Näin ollen kuonan geometrisen jakauman häiriön aiheuttamaa vaikutusta, joka tyssäyksessä näkyi selvästi, ei havaittu vetokoe tuloksissa. Sen sijaan näyttää siltä, että murtokurouma (Z) on erityisen herkkä venyneiden sulkeumien vaikutuksille, koska murtokurouman ja rikkipitoisuuden välillä voidaan todeta verrattain selvä riippuvuus (kuva 9). Murtovenymä taas korreloi erittäin selvästi muokkauslujittumiseksponentin eli n -arvon kanssa (kuva 10).



Kuva 9. Murtokurouma rikkipitoisuuden funktiona.

Fig. 9. Correlation between sulphur content and reduction of area in tensile test.



Kuva 10. Murtovenymä n-arvon funktiona (Lahden ja Sulosen mukaan /29/).

Fig. 10. Correlation between total strain at fracture and strain hardening exponent (according to Lahti and Sulonen /29/).

Tarkasteltaessa kuvan 7 rajamuovattavuuspiirroksia havaitaan, että eri sulatuksia vastaavien suorien määrittämät muovattavuustasot eroavat toisistaan kuten oli odotettuakin ja minkä jo edellä osoitettiin johtuvan erilaisista kuonapitoisuuksista tuotteen pintaosissa.

Hydrostaattisen paineen vaikutus sitkeän murtuman syntyyn

Plastisuusteoreettisissa tarkasteluissa yleensä oletetaan, että hydrostaattisella jännityksellä ei ole vaikutusta deformaation kulkuun, koska sen arvo eri suunnissa on vakio, minkä vuoksi venymäefektit kumoutuvat. Jos materiaali kuitenkin on huokoista (sisältää onkaloita), voivat onkalot laajentua tai umpeutua hydrostaattisen paineen vaikutuksesta. Näin ollen on ilmeistä, että hydrostaattisen paineen merkitys on tärkeä onkalojen kasvun säätelyssä sitkeän murtuman syntymisessä ja jopa ratkaiseva, jos sen arvo saavuttaa materiaalin leikkausmyötölujuuden. Negatiivinen (auki repivä) hydrostaattinen paine edistää murtuman syntymistä. Vaikutuksen määrä riippuu paitsi hydrostaattisen paineen arvosta myös onkaloiden tilavuusosuudesta murtuman ydintymisalueella. Mitä enemmän onkalon ydintymispaikkoja materiaali sisältää sitä herkempi se on hydrostaattisen paineen vaikutuksille. Näin selittyy edellä esitettyissä koetuloksissa (kuva 7) se seikka, että rajamuovattavuussuorien kulmakertoimien itseisarvo kasvaa koekappaleiden pintaosan kuonapitoisuuden kasvaessa ts. muovattavuus kasvaa jyrkemmin deformaation tasoittuessa 'epäpuhtailla' kuin 'puhtailla' materiaaleilla. Hydrostaattisen jännityskomponentin arvo nimittäin muuttuu puristavampaan suuntaan deformaation tasoittuessa puristuskokeessa, jolloin muutoksen aiheuttamat vaikutukset näkyvät selvemmin runsaammin onkaloita sisältävillä materiaaleilla. Tärkeätä on huomata, että kysymys on nimenomaan hydrostaattisen jännityskomponentin ja kuonapitoisuuden yhteisvaikutuksesta.

Toinen osoitus hydrostaattisen paineen vaikutuksesta em. koetuloksissa on se, että ankarimmissa muovausolosuhteissa (tartuntakitkatapauksissa) murtumisen syynä näyttää olevan se, että hydrostaattisen jännityskompo-

nentin arvo saavuttaa materiaalin leikkausmyötölujuuden arvon. Tämä näkyy taulukosta X, jossa σ_M/k -suhde murtumishetkellä on esitetty eri koeolosuhteissa.

Taulukko X. Hydr. jännityskomponentti/leikkausmyötölujuus (σ_M/k) eri koeolosuhteissa.

Table X. Hydr. stress component/shear strength (σ_M/k) in various forming conditions.

Sulatus	I	II	III	IV
A		1.080	1.010	0.560
B		1.030	1.040	0.550
C	1.045	1.000	0.875	0.510
D	0.830	0.795		0.325
E		0.765	0.705	0.345

- I: tartuntakitka, $h_0/d_0 = 1.0$
- II: tartuntakitka, $h_0/d_0 = 1.5$
- III: tartuntakitka, $h_0/d_0 = 2.0$
- IV: sileät työkalut ($\mu = 0.18$), $h_0/d_0 = 1.5$
- h_0 : alkuperäinen korkeus
- d_0 : alkuperäinen halkaisija

Vaikka σ_M/k -suhde sulatuksilla D ja E jääkin alle yhden, on kuitenkin todennäköistä, että ko. arvo paikallisesti murtuman ydintymisalueella on suurempi. Näin ollen on perusteltua olettaa, että hydrostaattinen paine tai jännityskomponentti voi yksinään aiheuttaa sitkeän murtuman syntymisen, jos sen arvo saavuttaa materiaalin leikkausmyötölujuuden.

Kitkakertoimen ollessa pienempi (tapaus IV) hydrostaattisen jännityskomponentin arvo jää huomattavasti alle leikkausmyötölujuuden arvon. Tällöin murtumisen perussy on toinen: plastisen muodonmuutoksen paikallistuminen, jota on tarkemmin käsitelty viitteessä /30/.

Tulosten perusteella voidaan osoittaa kolme erilaista tapaa parantaa teräksen murtumiskestävyyttä:

- 1) Pyrkimällä vähentämään kriittisen alueen kuonapitoisuutta.
- 2) Pienentämällä hydrostaattisen jännityskomponentin arvoa voitelua parantamalla.
- 3) Kompensoimalla hydrostaattisen jännityskomponentin vaikutuksia ulkoisella hydrostaattisella paineella.

YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET

Työssä tutkittiin kuonaominaisuuksien (sulkeumapitoisuus, koko, muoto, laatu sekä kuonan jakautuminen) vaikutuksia sitkeän murtuman syntymiseen. Lisäksi esitettiin koetuloksia, joiden perusteella analysoitiin kuonan ja hydrostaattisen jännityskomponentin yhteisvaikutuksia teräksen murtumiseen erilaisissa tyssäysolosuhteissa.

- (i) Sulkeumilla on olennainen osa sitkeän murtuman syntymisessä.
- (ii) Sulkeumakoolle esitettiin kriittisen arvon laskentamenetelmä.
- (iii) Kuonajakauman häiriöt jaettiin kahteen tapaukseen:

- 1) jakauman mikroskooppinen häiriö ja
- 2) jakauman geometrinen häiriö.

Edellistä kuvattiin normaalisti tapaukseksi, jolla ei ole haitallista käytännön merkitystä kun taas jälkimmäisellä todettiin olevan kokonaisvaltainen muovattavuutta alentava vaikutus.

- (iv) Sulkeuma-matriisi-rajapintaan kohdistuvaa rasitusta arvioitiin seuraamalla sulkeumien suhteellista plas-

tisuutta ja lämpölaajenemista matriisiin verrattuna. Tulosten perusteella sulkeumatyypit luokiteltiin haitallisuutensa mukaan.

- (v) Murtuma syntyy alueelle, johon jännitys- ja venymäkonsentraatiot keskittyvät. Alueiden sijainti kappaleessa riippuu muovausprosessin muuttujista (voitelu, työkalujen muoto), lähtöaihion muodosta sekä materiaalin epähomogeenisuuksien sijainnista.
- (vi) Hydrostaattisen jännityskomponentin arvo vaikuttaa ratkaisevasti sitkeän murtuman syntyyn. Negatiivinen hydrostaattinen paine pyrkii laajentamaan muovauksessa kappaleeseen syntyviä onkaloita. Muovattavuuden aleneminen hydrostaattisen paineen vaikutuksesta riippuu selvästi murtuman ydintymisalueen kuonapitoisuudesta. Epäpuhtaat teräset ovat erityisen herkkiä hydrostaattisen paineen vaikutuksille.
- (vii) Esitettiin kolme tapaa parantaa teräksen murtumiskestävyyttä: pienentämällä kriittisen alueen kuonapitoisuutta, pienentämällä hydrostaattisen jännityskomponentin arvoa voitelua parantamalla ja kompensoimalla ko. komponentin vaikutuksia ulkoisella hydrostaattisella paineella.

SUMMARY

INFLUENCE OF NON-METALLIC INCLUSIONS ON THE COLD FORMABILITY OF STEELS

The effect of the inclusion properties, including the size, shape, volume fraction, composition, and their distribution, on the formation of ductile fracture was considered in this work. Furthermore, the forming limit diagrams of five different heats of a low carbon steel with varying inclusion properties were represented and the results concerning the level and the slope of the limit curves were analyzed.

(i) The inclusions play an important role in the formation of ductile fracture.

(ii) A practical calculation method for determining the critical inclusion size was introduced.

(iii) Two different types of disturbances in the distribution of inclusions could be distinguished:

- 1) the microscopical disturbance and
- 2) the geometrical disturbance.

The former type could always be found in real metals and could be specified as normal weak points in the metal. The effects of these disturbances are out of practical interest. The latter type is always a serious problem, because it causes a general reduction in the formability of the material.

(iv) Different types of inclusions were divided into groups from "well behaving" to "very harmful" by considering their relative plasticity and thermal expansion in respect of the steel matrix.

(v) Ductile fracture initiates in the area where high stresses and strains are formed. The location of stress and strain concentrations depend on process variables, such as lubrication and tool design, the initial shape of the deformed body and the location of the inhomogeneities in the material.

(vi) The hydrostatic stress component is a decisive factor to affect the formation of ductile fracture by expanding the voids initiated in the course of deformation. The reduction of formability due to the hydrosta-

tic pressure is clearly dependent on the volume fraction of inclusions in the region where the fracture is formed. The "unclean" steels are especially sensitive to the effects of tensile hydrostatic pressure.

(vii) Three ways of improving the fracture resistance of a steel were proposed: By reducing the inclusion density in the critical region, by reducing the value of hydrostatic stress component, and by compensating the effects of hydrostatic stress component with the aid of external hydrostatic pressure.

KIRJALLISUUS — REFERENCES

1. Source Book on Cold Forming, ASM, Metals Park, Ohio 1975 367 s.
2. Arne Melander, Scand. J. of Metallurgy 9 (1980), 267.
3. Arne Melander, Scripta Met. 14 (1980), 1273.
4. J. M. Jalinier, J. H. Schmitt, R. Argemi, J. L. Salsmann, B. Baudalet Memoires Sci. Rev. Met. 77 (1980), 313.
5. G. LeRoy, J. D. Embury, G. Edward and M. F. Ashby, Acta Met. 29 (1981) 1509.
6. T. Gladman, B. Holmes, and F. B. Pickering, JISI 208 (1970), 172.
7. J. R. Fisher and J. Gurland, Part 1: Experimental. Met. Sci. (1981), 185.
8. Mikroskopische Prüfung von Edelmetallen auf nicht-metallische Einschlüsse mit Bildreihen, Stahl-Eisen-Prüfblatt 1570, Verlag Stahleisen m.b.H., 4 Düsseldorf 1.
9. Standard Recommended Practice for Determining the Inclusion Content of Steel, ASTM E 45-76, American National Standards Institute, NY.
10. N. A. MacQuarrie and L. J. Battle, Wire Ind. 45 (1978), 474.
11. Kurt Sachs, Neue Hütte, 20 (1975), 276.
12. Terence Cahill, Wire J. 9 (1976), 42.
13. Michitaka Fujita, Takashi Fukuda, Hyoji Hagita, Toyohiko Okamoto, Wire J. 10 (1977), 47.
14. A. S. Argon and J. Im, Met. Trans 6A (1975), 839.
15. Winfried Dahl, Stahl u. Eisen 97 (1977), 402.
16. Winfried Dahl, Helmut Hengstenberg u. Carl Düren, Stahl u. Eisen 86 (1966), 796.
17. S. Suh and H. A. Kuhn, Met. Trans 62 (1975), 2157.
18. D. Brooksbank, and K. W. Andrews, JISI 206 (1968), 595.
19. T. J. Baker, K. B. Gove, J. A. Charles, Metals Techn. (1976), 183.
20. R. D. Venter and de Malherbe M. C. Sheet Met. Ind. 48 (1971), 656.
21. Z. Marciniak, K. Kuczyński and T. Pokora, Int. J. Mech. Sci. 15 (1973) 789.
22. M. J. Painter and R. Pearce, J. Phys. D. Appl. Phys. 7 (1974), 992.
23. H. J. Kleemola and A. J. Ranta-Eskola, Met. Trans. 7A (1976), 595.
24. J. Reissner Maschinenmarkt, Würtzburg, 83 (1977), 1193.
25. P. W. Lee and H. A. Kuhn, Met. Trans. 4 (1973), 969.
26. S. P. Keeler, Sheet Met. Ind. 42 (1965), 683.
27. H. A. Kuhn, Workability testing and analysis for bulk forming processes. Formability Topics — Metallic Materials ASTM (Proc. Conf.) Toronto Canada, 4 May 1977.
28. S. M. Woodall and J. A. Schey, Determination of ductility for bulk deformation. Formability Topics — Metallic Materials ASTM (Proc. Conf.) Toronto Canada, 4 May 1977.
29. I. Lahti and M. Sulonen, The influence of non-metallic inclusions on the upsetability of low carbon steel. Hyväksytty julkaistavaksi, Scand. J. of Metallurgy.
30. A. S. Korhonen, Localization of plastic flow and ductile fracture in metals. Acta Polyt. Scand, Ch. 144, 1981.

Jatkuvatoimisen röntgenfluoresenssianalyysin uudet sovellutukset

Dipl.ins. Kyösti Saarhelo, Outokumpu Oy, Espoo

Ajatus röntgenfluoresenssin soveltamisesta rikastamon jatkuvatoimiseen analyysiin tuotiin esille jo 1950-luvulla, jolloin tehtiin myös ensimmäiset käytännön kokeilut. Kaupalliselle asteelle tekniikka pääsi vasta 1960-luvun puolivälissä. Pioneerityötä tehtiin pääasiassa Pohjois-Amerikassa, Suomessa ja Australiassa.

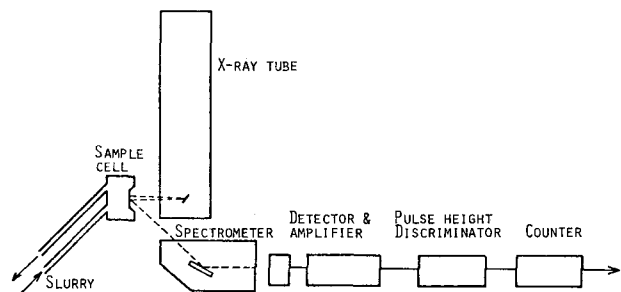
Varsinainen jatkuvatoimisen analyysin läpimurto rikastamoilla tapahtui 1960-luvun lopulla, jolloin noin kahden vuoden aikana asennettiin pääasiassa Pohjois-Amerikassa parikymmentä järjestelmää. Vauhti hidastui jonkin verran 1970-luvulla ja vuosikymmenen loppupuolella koetteli vuoriteollisuuden lamakausi myös analyysaattorivalmistajia. Tällöin pari alalla toiminutta yritystä luopui leikistä. Kahden viime vuoden aikana analyysaattorikauppa on taas käynyt vilkkaasti ja näyttää siltä, että analyysaattoreiden käyttö ja kysyntä kasvaa hitaasti, mutta tasaisesti. Rikastamoilla käytössä olevien järjestelmien lukumäärä lienee nykyisin sadanviidenkymmenen paikkeilla.

MITÄ ON JATKUVATOIMINEN RÖNTGENFLUORESENSSIANALYYSI

Metallisten mineraalien rikastamisessa ja metalleja jalostavissa hydrometallurgisissa prosesseissa on metallianalyysillä keskeinen merkitys prosessin ajon kannalta. Laboratorioanalyysien avulla voidaan tuotanto, taseet ja muut tarvittavat tiedot määrittellä tyydyttävästi jälkikäteen, mutta prosessinohjauksen kannalta laboratorioanalyysin käyttöarvo on vähäinen. Tämä johtuu siitä, että parhaassakin tapauksessa, esim. laboratorioautomaatiota hyväksi käyttäen, saadaan analyysitulosta vasta 1.5—2.5 tunnin kuluttua näytteenotosta. Odotusaikana prosessin tila on saattanut muuttua, jolloin analyysien perusteella tehdään väärä ohjaustoimenpiteitä.

Jatkuvatoiminen analyysi tarjoaa mahdollisuuden saada tietoa metalli- ja kiintoainepitoisuuksista ja niiden kehitystrendeistä niin nopeasti, että tapahtumiin voidaan vielä vaikuttaa ohjaustoimenpitein. Tällöin prosessin syötteen laadun muutosten ja muiden vastaavien häiriöiden vaikutukset voidaan korjata nopeasti, mikä näkyy saannin paranemisena ja parempana tuotteen laatuina. Jatkuvatoimisen analyysin avulla voidaan myös säästää kemikaaleja, muita tarveaineita ja energiaa, helpottaa prosessitutkimuksia sekä vähentää laboratorion kuormitusta.

Esimerkiksi vaahdotusprosessin aikavakiot huomioon ottaen 10—15 minuutin analysointiväli on riittävä, ja tämän vaatimuksen käytössä olevat analyysaattorit yleensä täyttävät. Käytännön kokemus on osoittanut, että ohjaustarkoituksiin riittää oleellisesti pienempi tarkkuus kuin on tarpeen metallitaseita laskettaessa.



Kuva 1. Röntgenfluoresenssimittapään ja -kanavan periaate.

Fig. 1. The principle schema of XRF measuring head and channel.

Kuvassa 1 nähdään erään röntgenfluoresenssianalyysaattorin periaatteellinen rakenne. Prosessista tuodaan jatkuva näytevirta (vaahdotusprosessissa tyypillisesti 20—40 l/min) analyysaattorin mittauskyvetiin. Herätelähteenä toimii röntgenputki, joka lähettää näytteeseen röntgensäteilyä ohuen, n. 50 µm paksun mittausikkunan kautta. Tämä primäärisäteily herättää mitattavien metallien atomeissa ns. karakteristista fluoresoivaa säteilyä, jonka energiat (aallonpituudet) ovat kullekin metallille tyypillisiä, ja intensiteetit vastaavasti verrannollisia a.o. metallien määriin näytteessä. Kutakin metallia varten on oma kidespektrometri, joka poimii halutun karakteristisen aallonpituuden erilleen ilmaistavaksi.

Ilmaismesta tulevat pulssit johdetaan pulssinkorkeuserottelun kautta laskimiin ja sieltä edelleen tietojenkäsittelyyn korjauslaskentaa varten.

Metallikanavien lisäksi tarvitaan yksi tai useampia sironnakanavia, joilla mitataan kevyistä aineista (vedestä) sironnutta säteilyä. Sironna antaa hyvän kuvan näytteessä olevan veden määrästä, joten sitä käytetään kiintoainepitoisuuskorjauksiin ja toisaalta lieteiheyden laskemiseen. Liuosnäytteitä mitattaessa se toimii taustakorjauksena.

Nykyisin käytetään myös radioisotoppilähteitä röntgensäteilyn synnyttämiseen, jolloin päästään oleellisesti kevyempään laiterakenteeseen kuin röntgenputkea käytettäessä. Tällöin joudutaan kuitenkin luopumaan kidespektrometreistä ja käyttämään puolijohdeilmaisinta tai verrannollisuuslaskuria, mikä merkitsee tinkimistä analyysiteknisestä suorituskyvystä. Tästä huolimatta isotooppia käyttävät analyysaattorit ovat nykyisin varsin yleisiä.

Jatkuvatoimisella röntgenanalyysaattorilla saavutettavat tarkkuudet riippuvat monista tekijöistä, jotka ovat erilai-

sia eri sovellutuksissa. Tällaisia ovat esim. raekoko, mineraalikoostumus, matriisiefektit, kiintoainepitoisuus ja erityisesti näissä tekijöissä tapahtuvat vaihtelut. Tyypillisesti saavutetaan seuraavia tarkkuusarvoja:

Vaahdotusprosessin lietteet:	
Metallipitoisuusalue	Suhteellinen virhe
0.01...0.2 %	5...10 %
yli 0.2 %	1...5 %
Kirkas liuos:	
Metallipitoisuus	Suhteellinen tarkkuus
0.002...0.02 %	5...10 %
yli 0.02 %	2...5 %

Jatkuvatoimisen röntgenfluoresenssin normaali sovellutusalue ulottuu titaanista uraaniin, joskin myös titaania kevyempiä alkuaineita voidaan mitata, jos voidaan tinkiä mittatarkkuudesta.

KESKITYS JA HAJAUTUS — KAKSI KEHITYSSUUNTAA

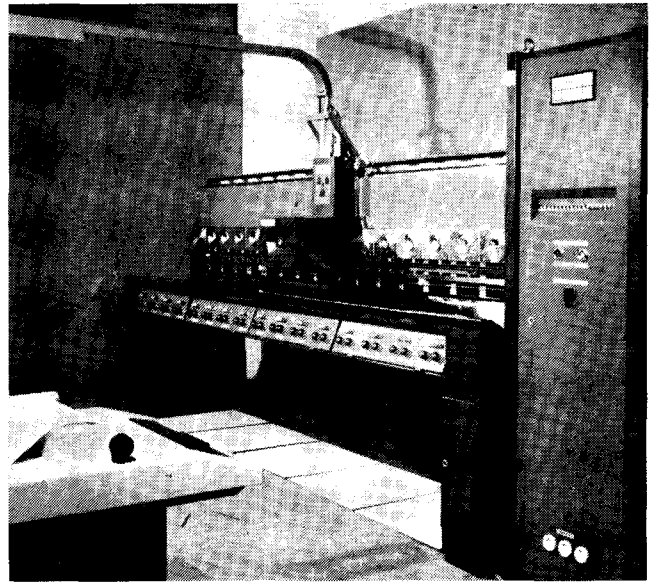
Perinteellisessä ratkaisussa analyysointilaitteet keskittään rikastamolla yhteen paikkaan, jolloin elektroniikka voidaan sijoittaa siistiin, ilmastoituihin huonetilaan. Keskitys merkitsee samalla sitä, että lietenäytteet on kuljettava näytteenottopisteistä eri puolilta prosessia analyysointilaitteen luo. Näytemäärä, tyypillisesti 100–250 l/min, on yleensä niin suuri prosessivirtauksiin verrattuna, että näytteet on palautettava prosessiin oikeisiin paikkoihin vain osittain yhdisteltyinä. Näin ollen näytteenkuljetus ja -palautus muodostavat huomattavan osatekijän jatkuvatoimisen analyysin kokonaiskustannuksissa.

Käyttämällä säteilylähteenä radioisotooppia tai pientehoröntgenputkea voidaan analyysointilaitteita rakentaa myös ns. hajautetulla periaatteella, jolloin analyysointilaitteet vietään tehtaalle ja sijoitetaan näytteenkuljetuksen ja -palautuksen kannalta optimaalisesti. Kuljetusongelma on tällöin yksinkertaisempi kuin keskitetyssä tapauksessa, mistä johtuen hajautetut järjestelmät ovat saavuttaneet jalansijaa rikastamoilla. Niiden esiinmarssi on tosin ollut huomattavasti hitaampaa kuin 1970-luvun alkupuoliskolla odotettiin.

Nykyisin näyttää siltä, että sekä hajautetuilla että keskitetyillä analyysointilaitteilla on omat tyypilliset sovellutusalueensa, eivätkä ne kovin pahasti kilpaile keskenään. Keskitettyyn ratkaisuun päädytään tyypillisesti silloin, kun on kysymyksessä kompleksinen malmi ja tuotetaan useampia rikasteita tai kun tarvitaan muista syistä suuri näytemäärä (10–15 näytettä tai enemmän). Hajautettu analyysointilaitte on omiaan pienemmän näytemäärän käsittelemiseen (10 näytettä tai vähemmän).

COURIER 300 -ANALYSAATTORI MENESTYY

Jatkuvatoimisen röntgenfluoresenssianalyysin alueella on suomalaisvalmisteinen COURIER 300 -analyysointilaitte (kuva 2) tullut kymmenen viime vuoden aikana tunnetuksi aikaansa seuraavien rikastusmiesten keskuudessa eri puolilla maailmaa /1/. On jopa sanottu, että se on saavuttanut eräänlaisen epävirallisen teollisuusstandardin aseman, koska jatkuvatoimisesta analyysistä puhuttaessa COURIER 300 -järjestelmää pidetään kohteena, johon muita ratkaisuja verrataan tarkkuuden, luotettavuuden ja käyttökelpoisuuden suhteen.



Kuva 2. Courier 300 -analyysointilaitte.

Fig. 2. The Courier 300 analyzer.

COURIER 300 -analyysointilaitteen syntyvaiheet juontavat juurensa 1960-luvun puolivälistä, jolloin Outokumpu Oy:n ylin johto tiedosti fysiikan ja instrumentiteknikan sekä näihin liittyvän modernin teknologian tuntemisen tarjoamat mahdollisuudet ja ryhtyi määrätietoisesti satsamaan tähän alueeseen. Rikastamopuolella huomio kiinnittyi mm. tuolloin ensiaskeleitaan ottavaan jatkuvaan on-stream röntgenfluoresenssianalysointilaitteeseen. Voitettavana oli lukuisia alkuvaikeuksia, joista silloisen elektroniikan luotettavuuteen liittyvät näytelivät merkittävää osaa vaikeiden näytteenotto- ja näytteenkäsittelyongelmien lisäksi. Perustavaa laatua oleva edellytys COURIER 300 -järjestelmän kehitystyön onnistumiselle lienee ollut se, että kehitystyöhön pystyttiin mobilisoimaan saman talon sisältä tarvittava fysiikan, rikastustekniikan, elektroniikan ja hienomekaniikan asiantuntemus.

Pyhäsalmen rikastamolla tehdyt prototyyppikokeet johtivat tulokseen vuonna 1970, jolloin prototyyppi korvattiin COURIER 300 -analyysointilaitteen ykköskappaleella. Tiheässä tahdissa seurasivat käyttöönotot Keretissä (1970), Vuonoksessa (1971), Kotalahdessa (1972) ja Vihannissa (1971) siten, että v. 1973 Outokummun omilla laitoksilla oli käytössä kaikkiaan seitsemän COURIER 300 -yksikköä.

Näistä asennuksista saatiin runsaasti käytännön kokemusta, jonka perusteella analyysointilaitteiden toimintavarmaksi kokonaispaketiiksi. Näytteenotto-, analyysointilaitte- ja tietojenkäsittelylaitteiden lisäksi toimituspaketti sisälsi tarvittaessa varaosat, asennusvalvonnan ja asiakaskoulutuksen, jolloin varmistettiin analyysointilaitteiden sujuvuus vaikeissakin olosuhteissa.

Vientitoiminta käynnistyi välittömästi 1970-luvun alussa. Ensimmäinen asennus ulkomailla tapahtui niinkin kaukana kuin Mount Isassa, Australiassa, mikä osoittaa senaikaisten vientimiesten taholta rohkeutta, mutta toisaalta myös lujaa luottamusta tuotteen tulevaisuuteen. On tietysti muistettava, että Mount Isa oli jo tuohon aikaan tunnettu rikastamoautomaation alalla tehdystä pioneerityöstä.

Tänään COURIER 300 -analysointilaitteita on toimitettu yhteensä 45 yksikköä lähes kaikille merkittävälle kaivosalueille maailmassa. Maantieteellinen jakauma on oikein taulukon mukainen.

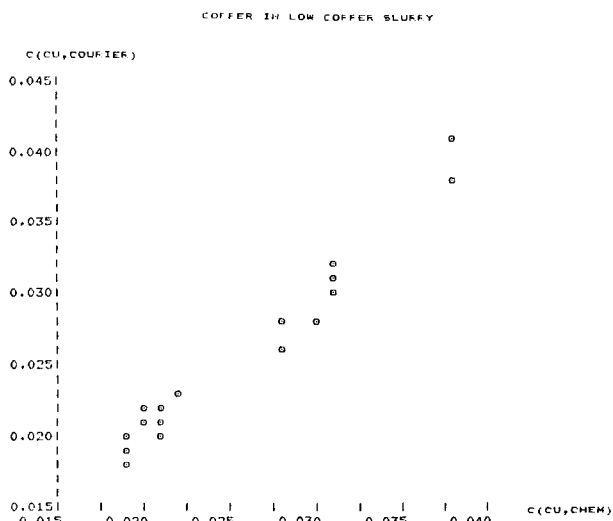
Alue	COURIER 300 -asennukset (yksikköä)
Suomi	7
Pohjois-Amerikka	18
Australia ja Papua New Guinea	4
Etelä-Afrikka	3
Neuvostoliitto	3
Muut	10
Yhteensä	45

Tilaukanta oli v. 1982 alussa 5 kpl, mikä osoittaa, että COURIER 300 on tuotteena edelleen ajankohtainen ja kilpailukykyinen.

PIENTEN PITOISUUKSIEN MITTAUS — PARANTUNUT HERKKYYS

Jalometallien hinnannousun myötä on rikastamoilla herännyt tarve saada myös niiden pitoisuudet jatkuvatoimisen analysoinnin piiriin. Jalometallien määrät prosessilietteisissä liikkuvat usein aivan röntgenfluoresenssitekniikan tarjoaman herkkyyden alarajoilla, mikä on entisestään lisännyt mielenkiintoa Outokummun fysiikan tutkimuslaitoksella tehtyä spektrometritekniikan herkkyyden parantamiseen tähtävästä kehitystyöstä kohtaan /2 ja 3/.

Kehitystyö lähti alunperin liikkeelle kuparivaahdotuksen jätteen mittaamiseen liittyneistä vaikeuksista eräissä sovellutuksissa. Mittaustarkkuudet eivät olleet tyydyttäviä kuparipitoisuuden ollessa 0.05 % tai pienempi. Tunnettuja virhelähteitä olivat kiintoainepitoisuuden ja rae-koon vaihtelut sekä matriisiefektit näytteessä, ja toisaalta metallikanavaan tuleva taustasäteily. Kolmeen ensimmäiseen tekijään ei juuri laitekehityksellä voitu vaikuttaa, mutta signaali/taustasuhteen parantamiseen paneuduttiin, ja tuloksena syntyivät nykyiset spektrometrit, joiden suorituskyky tältä osin on ratkaisevasti parantunut. Taustaa voidaan edelleen pienentää ja signaalia kasvat-
taa valitsemalla röntgenputken anodimateriaali sovellutuksen mukaan, suodattamalla primäärisäteilyä sopivasti ja ääritapauksessa lisäämällä röntgenputken tehoa.



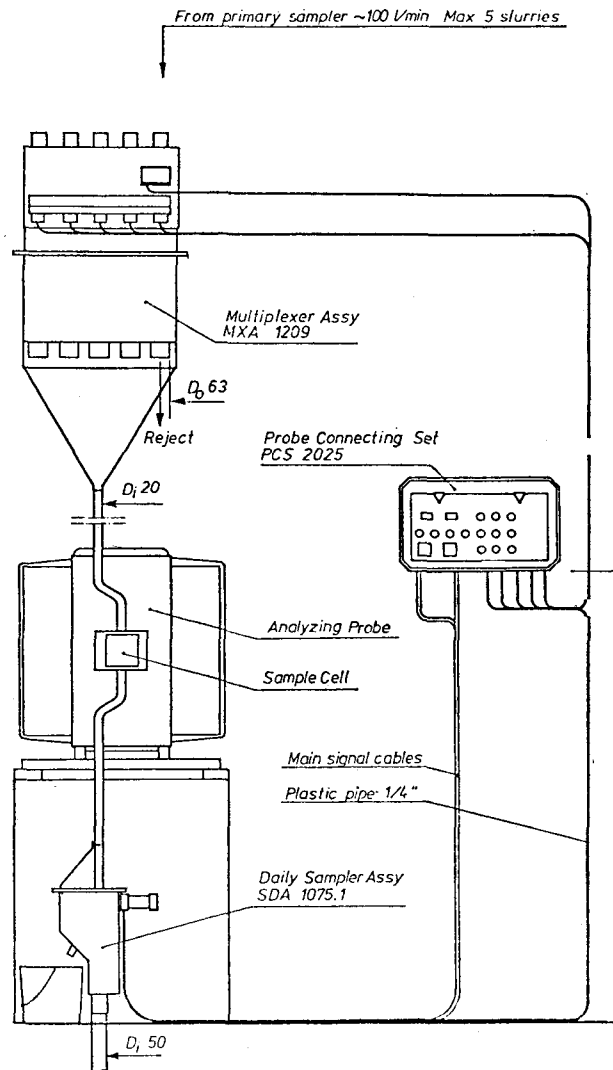
Kuva 3. Kuparin mittaaminen uusilla spektrometreillä käyttäen.
Fig. 3. Copper measurement using the new spectrometers.

Alla olevassa taulukossa on tulos erästä kalibroinnista, ja sama tulos on piirrettyä kuvassa 3. Näyteliikkeen kemialliset analyysit ovat kuvassa vaakakselilla ja Courier 300 -analyysit pystyakselilla.

Keskimääräinen Cu-pitoisuus	0.027 %
Keskihajonta (1 sigma)	0.0013 %
Suhteellinen virhe (1 sigma)	4.81 %
Korrelaatiokerroin	0.98 %

COURIER 30 — UUSI COURIER-SUKUPOLVI

Lähes kymmenen vuoden aikana kertyneet kokemukset jatkuvatoimisten analysointilaitteiden markkinoinnista ja valmistuksesta antoivat Outokummun piirissä aiheen ryhtyä kehittämään uutta analysointilaitetta, joka olisi analyysitekniikaltaan suorituskyvyiltään COURIER 300 -tasoa, mutta toteutukseltaan kevyempi ja tarvittaessa sopiva myös pienille ja yksinkertaisille rikastamoille. Uuden sukupolven COURIERin nimeksi tuli COURIER 30. Päätös tuotekehityksen aloittamisesta tehtiin v. 1979 alussa ja prototyypivaiheeseen se pääsi v. 1980 kesällä.



Kuva 4. Courier 30 rikastamoasennus näytteenottolaitteineen.

Fig. 4. The concentrator installation of the Courier 30 and the slurry sampling equipment.

Tuotekehityksen oleellisiin perusratkaisuihin kuului pienteho-röntgentekniikan käyttöönotto ja pitäytyminen COURIER 30:n hyväksi todetuissa kidespektrometreissä /4, 5/. Itsestään selvää oli, että mittaus- ja ohjauselektronikka rakennettiin mikroprosessoripohjalle. Pientehoröntgen ja mikroprosessori merkitsivät yhdessä laitteiden kevenemistä niin pitkälle, että analysaattori voitiin suunnitella prosessikelpoiseksi anturin muotoon, mikä tekee mahdolliseksi analysaattorien hajauttamisen tehtaalla.

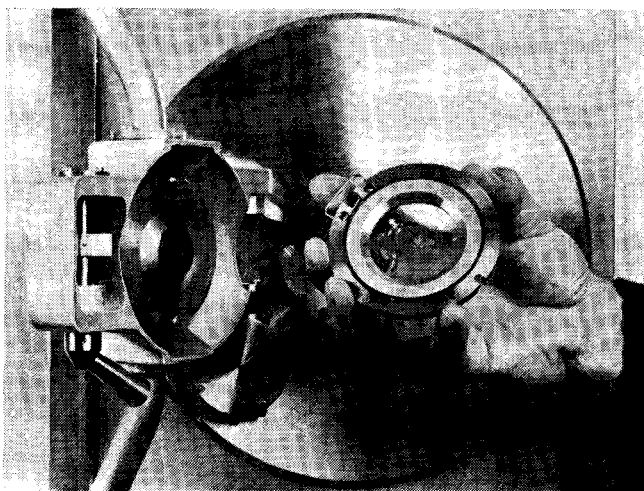
Kuva 4 esittää COURIER 30 -anturia ohjaukoteloinen ja lähilietelaitteinen. Anturi sisältää max. kuusi rinnakkaista mittauskanavaa, joten sillä voidaan mitata korkeintaan viisi metallipitoisuutta ja lietetiheys. Varsinainen anturiossa sisältää mittauskyvetin vaihdettavine ikkunoineen sekä kaiken tarvittavan röntgen- ja mittaus-elektroniikan. Anturin alla oleva pöytä sisältää yksinkertaisen vesijäähdytyslaitteiston, joka tarvitaan elektronikassa syntyvien lämpöhäviöiden johtamiseen pois anturista. Merkkivalot ja tarvittavat kytkimet ja painonapit prosessimiestä varten on sijoitettu ohjaukoteloon (PCS).

Kuvassa 4 anturin yläpuolella on näytteenvalitsin, johon tuodaan max. 5 kpl jatkuvia primäärinäytevirtauksia, joiden virtausmäärä on 100–250 l/min kunkin lietenäytteen ollessa kysymyksessä. Laite valitsee kulloinkin yhden näytteen mitattavaksi ja jakaa sen siten, että mittauskyvetiin tulee n. 25–35 l/min jatkuva virtaus. Kyvetin jälkeen on vielä puoliautomaattinen kalibrointinäytteenotin, joka käynnistetään ohjauslaatikosta käsin.

Kun näyte on valittu mittauskyvetiin ja virtaus tassaantunut, mittaa anturi 60 s ajan, jonka jälkeen kyvetinlinja tyhjennetään ja huuhdellaan vedellä ennen kuin seuraava näyte valitaan. Kaikki nämä toiminnot tapahtuvat täysin automaattisesti anturissa olevan mikroprosessorin ohjaamina käyttäjän etukätein ohjelmoimaa sekvenssia seuraten. Tyypillinen näytettä kohti tarvittava kokonaisaika vaihtelee välillä 90–120 sekuntia huuhdeltua ajoista riippuen.

Sekvenssiin sisältyy myös halutuun välein anturin sisäisen referenssin mittaus, jonka perusteella mikroprosessori laskee korjauskertoimet elektroniikan ryöminän automaattista eliminointia varten.

Kyvetin mylar-mittausikkuna on kulutustavaraa ja sen vaihtaminen on tehty erittäin yksinkertaiseksi (kuva 5). Ikkunan vaihtoväli on kuluttavuudesta ja mahdollisesta saostumisesta riippuen tyypillisesti yhdestä päivästä viikkoon.



Kuva 5. Courier 30 -mittausikkunan vaihto.

Fig. 5. Replacement of the flow cell window.

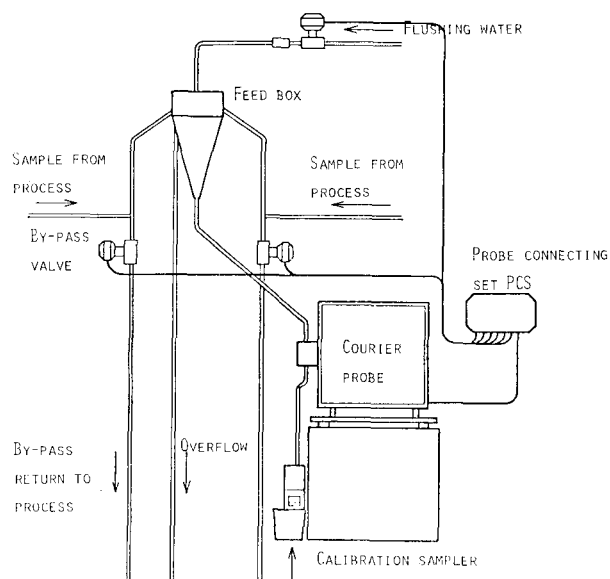
Anturin mikroprosessori sisältää tarvittavat yksinkertaiset regressiomallit analyysien laskemiseksi primääripulsseista, joten pienin toimiva analysaattorikokoonpano, ns. COURIER 30 STAND ALONE -versio, muodostuu kuvan 4. laitteista ja kirjoitinpääteestä, jolle analyysit tulostetaan heti mittauksen jälkeen. Muutama analyysi voidaan myös tulostaa tarvittaessa normaalille analogiapiirturille esim. valvomoon.

COURIER 30 -anturi voidaan myös liittää mikrotietokonepohjaiseen tietojenkäsittelyjärjestelmään, joka tarjoaa monipuolisen valikoiman tulostusvaihtoehtoja loki-, vuoro- ja vuorokausiraporttien, analogiapiirturitulostusten ja erilaisten päätteiden muodossa. Analysaattorijärjestelmä laajenee tarvittaessa joustavasti liittämällä keskustietokoneeseen lisää antureita ja tarvittaessa myös analogiamittauksia.

COURIER 30 HYDROMETALLUGISILLA LAITOKSILLA

Parikymmenen viime vuoden aikana on kaivos- ja metallurgisen teollisuuden piirissä asennettu 160–180 jatkuvatöimistä röntgenfluoresenssianalysaattoria. Lähes kaikki näistä ovat sijoittuneet rikastamoille, mikä sinänsä on yllättävää, koska itse analyysitekniikka soveltuu itse asiassa paremmin liuosten kuin lietteiden mittaamiseen, kuten mm. aikaisemmin annetut tarkkuusarvot osoittavat. Metalleja jalostavissa hydrometallurgisissa laitoksissa virtaa myös usein prosessin kautta arvoltaan moninkertainen määrä metalleja rikastamoihin verrattuna, joten taloudellisia perusteita analysaattori-investoinneille kyllä löytyy. Eräs syy hitaaseen liikkeelle lähtöön on todennäköisesti ollut vaikeisiin ympäristöolosuhteisiin asennettavaksi soveltuvien laitteiden puute ja näytteenottoon liittävät ongelmat, onhan usein kysymys kuumista, syövyttävistä näytteistä ja korroosiota aiheuttavasta ilmastosta.

Vaikka COURIER 30 suunniteltiin alunperin rikastamoihin ajatellen, ryhdyttiin jo prototyypivaiheessa etsimään uusia sovellutuksia. Uuden laitteen soveltuvuus liuosmittauksiin hydrometallurgiassa ja kemian teollisuudessa oli ilmeinen, ja niinpä ensimmäiset projektit pää-



Kuva 6. Courier 30 liuosmittaussovellutuksessa näytteenottolaitteinen.

Fig. 6. Courier 30 installation for solution applications, including sampling equipment.

sivät asennusvaiheeseen vuoden 1981 syksyllä, kun Outokummun Porin tehtaiden elektrolyysissä ja Kokkolan kobolttitehtaalla asennettiin COURIER 30 STAND ALO-NE -analysaattorit.

Porin elektrolyysissä COURIER 30 mittaa kuparin, nikkelin, arseenin, vismutin ja antimonin pitoisuuksia liuospuhdistuksessa. Erityisen tärkeitä on kupari, jonka poistaminen elektrolyysiliuoksesta on ohjattavan prosessin varsinainen tarkoitus.

Saavutetut mittaustarkkuudet ovat olleet prosessin ohjauksen kannalta riittäviä. Oheisessa taulukossa olevat kalibrointitulokset antavat niistä suuruusluokkakuvan.

Mitattava metalli	Suhteellinen virhe	Korrelaatio-kerroin	Analyysin keskiarvo
Kupari	3.2 %	0.97	17.8 g/l
Nikkeli	6.3 %	0.998	4.5 g/l
Arseeni	3.4 %	0.99	5.2 g/l

Analysaattori on sijoitettu liuospuhdistamohallin alustaselle suoraan prosessiympäristöön. Mitattava näyte sisältää 150—170 g/l rikkihappoa, ja näytteen lämpötila on 30—40° C. Korroosio-ongelmia ei ole esiintynyt sen jälkeen, kun heti käyttöönotossa paljastuneet pikkuvirheet näytteenottolaitteiden materiaalivalinnoissa korjattiin.

Kokkolan kobolttitehtaan saostamalla COURIER 30 mittaa seuraavista prosessiliuoksista otettuja näytteitä: alkuliuos, kuparin suodos ja sinkin suodos. Mitattavat metallit ovat koboltti, nikkeli, kupari, sinkki ja rauta. Lähtöleväisyydessä järjestelmään lisätään vielä näyte liuotuksen suodoksesta.

Käyttöönoton yhteydessä kokeiltiin alkukalibrointia laboratoriossa esivalmistetuilla liuoksilla. Koe onnistui erinomaisesti, ja kahden näytteen kalibrointi vietiin läpi päivässä.

Näyteliuokset ovat voimakkaasti syövyttäviä, kuten Porin elektrolyysissäkin. Lämpötila voi olla pahimmillaan yli 60° C, pH vaihtelee alueella 1.7...0.8, ja rikkihapon lisäksi näyteliuos sisältää liuennutta rikkivetyä, jota prosessissa käytetään suurina määriä metallien saostamiseen. Tästä huolimatta korroosio-ongelmia ei ole toistaiseksi esiintynyt.

Positiiviset kokemukset ensimmäisistä liuossovellutuksista merkitsevät COURIER 30 -analysaattorille huomattavaa aluevaltausta. Markkinointi kohdistetaan aluksi niihin hydrometallurgisiin prosesseihin, joista Outokummulla on suoraa kokemusta (nikkeli-, koboltti- ja sinkkitehtaat sekä kuparielektrolyysit).

COURIER 30 PIENILLÄ RIKASTAMOILLA

COURIER 30 soveltuu hajautetun rakenteensa vuoksi erityisen hyvin pienille ja yksinkertaisille rikastamoille, joille keskitetty analysaattorijärjestelmä edustaa liian suurta investointia. Viiden näytteen anturilla voidaan hoitaa tyydyttävästi yhden vaahdotuspiirin analysointitarpeet, ja mikäli sovellutus laajenee, on aina mahdollista lisätä järjestelmään uusi anturi.

Tyypillinen esimerkki on Vammalan rikastamo, johon asennettiin COURIER 30 kesällä 1980 mittaamaan nikkeli-, kupari-, koboltti- ja kiintoainepitoisuuksia rikastamon syötteestä, jätteestä sekä esi- ja lopullisesta rikasteesta. Anturi on sijoitettu rikastamon lattiatasolle siten, että pääosa näytteenkuljetuksista ja -palautuksista tapahtuu painovoimalla tai prosessipumppujen paineella, ja tarvitaan ainoastaan kaksi ylimääräistä pumppausta.

Prosessinohjauksen ongelmana ovat Vammalassa olleet erityisesti nikkelimineraalien määrän suuret muutokset

louhintapaikasta riippuen, mistä johtuen kokoojaa syötettiin aikaisemmin vaahdotukseen ylimäärin, jotta vältettäisiin ajoittaiset saantitappiot. Jatkuvatoimisen analysaattorin avulla saavutettiin v. 1981 aikana huomattavia kokoojasaastotuksia sekä parannettiin saantia ja rikasteen laatua.

Tämän lehden ilmestymisen aikoihin asennetaan Rautaruukin Rautuvaaran rikastamolle COURIER 30 -järjestelmä mittaamaan kupari- ja rautapitoisuuksia viidestä rauta- ja kuparirikastamon lietteestä. Analyysit tulostetaan lisäksi kirjoitinpäätteen valvomon piirtureille.

YHTEENVETO

Ajatus röntgenfluoresenssin soveltamisesta rikastamon jatkuvatoimiseen analyysiin tuotiin esille jo 1950-luvulla, jolloin tehtiin myös ensimmäiset käytännön kokeilut. Kaupalliselle asteelle tekniikka pääsi vasta 1960-luvun puolivälissä ja varsinainen läpimurto rikastamoilla tapahtui 1960-luvun loppuvuosina.

Jatkuvatoiminen analyysi tarjoaa mahdollisuuden saada tietoa metalli- ja kiintoainepitoisuuksista ja niiden kehitystrendeistä niin nopeasti, että tapahtumiin voidaan vielä vaikuttaa ohjaustoimenpitein. Tällöin prosessin syötteen laadun muutosten ja muiden vastaavien häiriöiden vaikutukset voidaan korjata nopeasti, mikä näkyy saannin paranemisenä ja parempana tuotteen laaduna. Jatkuvatoimisen analyysin avulla voidaan myös säästää kemikaaleja, muita tarveaineita ja energiaa, helpottaa prosessitutkimuksia sekä vähentää laboratorion kuormitusta.

Suomalaisvalmisteinen COURIER 300 -analysaattori (kuva 2) on tullut kymmenen viime vuoden aikana tunnetuksi aikaansa seuraavien rikastusmiesten keskuudessa eri puolilla maailmaa. On jopa sanottu, että se on saavuttanut eräänlaisen epävirallisen teollisuusstandardin aseman, koska jatkuvatoimisesta analyysistä puhuttaessa COURIER 300 -järjestelmää pidetään kohteena, johon muita ratkaisuja verrataan tarkkuuden, luotettavuuden ja käyttökelppoisuuden suhteen.

Jalometallien hinnannousun myötä on rikastamoilla herännyt tarve saada myös niiden pitoisuudet jatkuvatoimisen analysoinnin piiriin. Outokummun fyysikan tutkimuslaitoksella on tehty ansiokasta spektrometritekniikan herkkyyden parantamiseen tähtävää kehitystyötä. Tuloksena on mittauskanavan signaali/taustasuhteen paraneminen, mikä merkitsee oleellisesti parempia mahdollisuuksia mitata pieniä metallipitoisuuksia.

Lähes kymmenen vuoden aikana kertyneet kokemukset jatkuvatoimisten analysaattoreiden markkinoinnista ja valmistuksesta antoivat Outokummun piirissä aiheen ryhtyä kehittämään uutta analysaattoria, joka olisi analyysitekniseltä suorituskyvyltään COURIER 300 -tasoa, mutta toteutukseltaan kevyempi ja tarvittaessa sopiva myös pienille ja yksinkertaisille rikastamoille. Uuden sukupolven COURIERin nimeksi tuli COURIER 30. Päätös tuotekehityksen aloittamisesta tehtiin v. 1979 alussa ja prototyypivaiheeseen se pääsi v. 1980 kesällä.

Tuotekehityksen oleellisiin perusratkaisuihin kuului pientehoröntgentekniikan käyttöönotto ja pitäytyminen COURIER 300:n hyväksi todetuissa kidespektrometreissä. Itsestään selvää oli, että mittaus- ja ohjauselektronikka rakennettiin mikroprosessoripohjalle. Pientehoröntgen ja mikroprosessori merkitsivät yhdessä laitteiden kevenemistä niin pitkälle, että analysaattori voitiin suunnitella prosessikelpoiseksi anturin muotoon, mikä tekee mahdolliseksi analysaattorien hajauttamisen tehtaalla.

Vaikka COURIER 30 suunniteltiin alunperin rikastamoita ajatellen, ryhdyttiin jo prototyypivaiheessa etsimään uusia sovellutuksia. Uuden laitteen soveltuvuus liuosmittauksiin hydrometallurgiassa ja kemian teollisuudessa oli ilmeinen, ja niinpä ensimmäiset projektit pääsivät asennusvaiheeseen vuoden 1981 syksyllä, kun Outokummun Porin tehtaiden elektrolyysissä ja Kokkolan kobolttitehtaalla asennettiin COURIER 30 STAND ALONE -analysaattorit.

Kokemukset sekä Porissa että Kokkolassa ovat olleet erinomaisia, mikä merkitsee huomattavaa aluevaltausta COURIER 30 -analysaattorille. Markkinointi tullaan aluksi kohdistamaan niihin hydrometallurgisiin prosesseihin, joista Outokummulla on suoraa kokemusta.

COURIER 30 soveltuu hajautetun rakenteensa vuoksi erityisen hyvin pienille ja yksinkertaisille rikastamoille, joille keskitetty analysaattorijärjestelmä edustaa liian suurta investointia. Tyypillinen esimerkki on Vammalan rikastamo, missä v. 1981 aikana saavutettiin huomattavia kokoojasäästöjä sekä parannettiin saantia ja rikasteen laatua.

Tämän lehden ilmestymisen aikoina asennetaan COURIER 30 Rautaruukin Rautuvaaran rikastamolle mittamaan kupari- ja rautapitoisuuksia viidestä rauta- ja kuparirikastamon lietteestä. Analyysit tulostetaan kirjoitinpäätteen lisäksi myös valvomon piirturille.

KIRJALLISUUS — REFERENCES

1. Leppälä, A., Koskinen, J., Leskinen, T. and Vanninen, P., COURIER 300 On-Stream Analysis System. Transactions of SME, Sept. 1971, Vol. 250.
2. Sipilä, H., Improving the Detection Limit in Wavelength Dispersive XRF. A paper presented in the 29th Annual Conference on Applications of X-Ray Analysis, Denver 1980, to be published in Advances in X-Ray Analysis, Vol. 24.
3. Koskinen, J., Sipilä, H., An Example of Low Copper Measurement using the COURIER 300. Outokumpu Oy:n sisäinen raportti 24. 3. 1980.
4. Hietala, M., Kiuru, E., New Energy and Wavelength Dispersive On-Stream XRF Probes. Preprints of the Third Symposium on Automation in Mining, Mineral and Metal Processing, Montreal, August 1980.
5. Kiuru, E., Uusi prosessikelpoinen röntgenfluoresenssianalysaattori. Automaatiopäivät 1981, Suomen Sääteoteknillinen Seura ry, Julkaisu n:o 2., Vol. II.

SUMMARY

NEW APPLICATIONS OF ON-STREAM

X-RAY FLUORESCENCE ANALYSIS

The break-through of on-stream X-ray fluorescence analysis at mineral concentrators took place during 1968—1970. On-stream XRF produces metal analysis data from process streams so fast, that process operators have chance to make corrective actions and thus eliminate the effects of disturbances originating from the variations in ore quality, or from other sources. This results in higher recoveries, better concentrate grades, savings in reagent and power consumption and reduced workload of laboratory.

COURIER 300 on-stream analyzer manufactured by Outokumpu Oy, has achieved nearly a position of an unofficial industrial standard at concentrators. 45 units have been installed during ten years in North America and other principal mining areas.

Intensive development work made in the Institute of Physics, Outokumpu Oy resulted an essential improvement of the sensitivity of crystal spectrometers, which means extension of the measurement range towards lower metal concentrations.

Based on the ten-year long experience on the development, manufacturing and marketing of on-stream analyzers, a new generation of COURIER analyzers called COURIER 30, was developed. COURIER 30 uses the very same crystal spectrometers as COURIER 300, and due to low power X-ray technique and microprocessor electronics it has been possible to design it as a probe, which can be installed in process environment.

Although COURIER 30 was originally designed for mineral concentrators, it has found new promising applications at hydrometallurgical plants. COURIER 30 STAND ALONE analyzers were installed in 1981 both at Pori electrolytic refinery and at Kokkola cobalt plant and the experiences have so far been encouraging. COURIER 30 is also suitable for small concentrators like Vammala nickel concentrator in Western Finland, where it has been in use from 1980.

p. 45 →

SUMMARY

THE EFFECTS OF IMPURITIES ON THE FRACTURE MODE OF STEELS

The effect of impurities on the fracture mode of steels is reviewed in this lecture. This subject has been investigated systematically only in recent years. However the subject is already so wide that it can't be treated thoroughly in this kind of short lecture. The research in this field has developed fast principally for two reasons: first, the development of suitable analytical methods (Auger and Esca) has made possible the reasonable experimental work and second, the development of thermodynamical models of segregation has helped us to better understand the character of many embrittlement phenomena.

The effect of impurities is discovered in all microscopic modes of fracture which are brittle and ductile transgranular fracture and brittle and ductile intergranular fracture. Besides in impact loading the effect of impurities is discovered also in other modes of loading, e.g., in static tensile loading and in fatigue. The investigation of the effect of impurities on the fracture of steels is very important because impurities can reduce remarkably the toughness of steels. For instance, it has been noted that fracture toughness of steels has decreased over 90 % because of segregation of impurities on grain boundaries.

Entropian kasvun laki ja ihmiskunnan globaalit ongelmat

TkT Antero Honkasalo, Lappeenrannan teknillinen korkeakoulu, Tuotantotalouden laitos

Seuraavassa pyrin käsittelemään lyhyesti ja pelkistetyksi, mikä merkitys termodynamiikan toisella pääsäännöllä voisi olla käsiteltäessä ihmiskunnan taloudellisen toiminnan fysikaalisen tason reunaehtoja. Tarkasteluni pohjaa suurelta osin N. Georgescu-Roegenin teoksissaan *Entropy Law and the Economic Process* (1971) sekä *Energy and the Economic Myths* (1976) esittämiin ajatuksiin.

Nämä ovat mielestäni teknistieteellisen pohjakoulutuksen saaneelle mielenkiintoisinta luettavaa, mitä taloustieteissä on vuosiin julkaistu.

Merkittävää taloustieteen kannalta on Georgescu-Roegenin toteamus ihmisen paikasta luonnon järjestelmässä entropian kasvun lain avulla ilmaistuna. Ihminen ja hänen tuotannollinen toimintansa kuluttaa elämän eri muodoista eniten luonnon matalan entropian varastoja. Samalla ihmisyhteisö ja tuotantovälineet kehittyvät. Koska kerran, kuten Georgescu-Roegen toteaa, ihmisen kaiken tuotannollisen toiminnan lopputulos ympäristön kannalta on aina välttämättä jäte, entropian kasvu, niin on epätieteellistä ja utopistista luulla, että ympäristöongelmat pystyttäisiin täysin poistamaan. Täydellisinkin tekninen kiertokulku tuottaa ainakin lämpösaastetta, ja toisaalta uusiutumattomien luonnonvarojen hupeneminen on väistämätöntä: rajallisista varastoista ei yksinkertaisesti voida ammentaa loputtomiin. Tärkeätä onkin arvioida, mikä osa ihmisen tuotannon aiheuttamasta entropian kasvusta biosfäärissä johtuu yhteiskunnallisista, taloudellisista ja teknisistä tekijöistä sekä missä määrin on kyse luonnontieteellisesti väistämättömistä palautumattomista muutoksista. Samoin olisi kiinnitettävä huomiota siihen, kuinka kauan ihmisyhteisön ylipäättänsä halutaan säilyvän maapallon pinnalla: sata, tuhat tai kenties satojatuhsia vuosia.

Ihmisen biologisessa evoluutiossa kymmenenkin tuhatta vuotta on hyvin lyhyt aika. Siinä tuskin ehtii tapahtua ratkaisevia geneettisiä muutoksia. Kuitenkin erilaiset maailmanmallit, joilla pyritään arvioimaan ihmiskunnan selviytymisen mahdollisuuksia, ulottuvat raaka-aine- ja energiatarkehtelun osalta korkeintaan muutaman sadan vuoden perspektiivillä tulevaisuuteen.

Termodynamiikan toisella pääsäännöllä ei siis ole merkitystä vain teknisen tason ongelmia ratkottaessa, vaan sen avulla voidaan tarkastella ihmiskunnan tuotannollisen toiminnan tulevaisuuden näkymiä.

TERMODYNAMIIKAN TOINEN PÄÄSÄÄNTÖ

Termodynamiikan toinen pääsääntö voidaan määritellä monella eri tavalla: Lämpö virtaa vain kuumasta kappaleesta kylmempään, ns. toisen lajin ikiliikkujan rakentaminen on mahdotonta, eristetyn systeemin entropia pyrkii maksimoitumaan jne.

Taloustieteiden kannalta ehkä tärkeintä on se, että käytännön elämässä kaikki prosessit ovat irreversiibeileitä eli palautumattomia entropian kasvun suuntaan.¹⁾ Energia muuttuu vapaasta, käyttökelpoisesta muodosta sidottuun käyttökeltvottomaan muotoon eli atomien ja molekyylien suuntaa vailla olevaksi lämpöliikkeeksi. Näin ihminen ei saa luonnolta mitään ilmaiseksi, vaan hänen tuotannollinen toimintansa väistämättä johtaa kokonaisuuden entropian kasvuun. Tämä voi tuntua trivialiteetilta, mutta useimmat kansantaloudelliset mallit yhä ottavat huomioon luonnonvarat ikään kuin ilmaisina input-suureina yhtälöihinsä (Georgescu-Roegen, 1971). Samoin työn tuottavuuden määritelmiin ei sisälly sitä, missä määrin on käytetty hyväksi luonnon matalan entropian varastoja tai aiheutettu palautumattomia haitallisia vaurioita ekologisille systeemeille. Työn tuottavuus laskee kaivoksessa esiintymän ehtyessä, vaikka tuotantovälineiden käytön tehokkuus ja työvoiman ammattitaito ja työponnistus säilyisivät ennallaan.

Entropian kasvun laki voidaan myös ilmaista siten, että tuntemassamme maailmankaikkeudessa epätodennäköisyydet pyrkivät spontaanisti tasoittumaan, erilaisuudet häviämään, gradientit loivenemaan jne. Clausius ilmaisi saman asian vuonna 1865 tunnetusti seuraavalla tavalla:

Die Energie der Welt is konstant

Die Entropie der Welt strebt einem Maximum zu.

Vaikka kosmologisesti voi olla mahdollista, ettei maailmankaikkeus ole matkalla kohti ns. lämpökuolemaa, vaan "oskilloi", niin ihmisen tuotannollisen toiminnan oletettavissa olevan keston puitteissa ihmiskunta tuskin pystyy koskaan pakenemaan entropian kasvun lakia. Sen luomat reunaehdot on enemmän tai myöhemmin otettava huomioon kaikessa taloudellisessa suunnittelussa.

Eristetyn fysikaalisen systeemin ja sen tilojen välisen yhteyden osoitti tunnetusti ensimmäisenä Ludwig Boltzmann 1800-luvun loppupuolella. Jos systeemi voi toteutua N:llä tavalla (esim. N:llä erilaisella molekyyli-sijoituksella), niin systeemin entropian S:n ja N:in välinen yhteys voidaan ilmoittaa kaavalla:

$$S = k \ln N, \text{ missä } k = 1,38 \cdot 10^{-27} \frac{\text{J}}{\text{K}} \text{ (Boltzmannin vakio).}$$

Termodynamiikan toisen pääsäännön mukaan ei siis vain energia muutu suunnatuista energianmuodoista "vähempiarvoiseksi" lämpöenergiaksi, vaan myös erilaisilla aineellisilla järjestelmillä on pyrkimys "hajota". Teräsrakenteet esim. ruostuvat, korkeasti järjestäytyneet

¹⁾ Entropian käsitteen käytöstä nykyfysiikassa ja sen määrittämisestä, katso esim. Harrison (1975).



metallihila syöpyy oksideiksi.) Koskaan käytännössä ei kuitenkaan tapahdu päinvastaista eli ruoste yllättäen muutu takaisin teräsrakenteeksi. Ajatelkaamme, että tällainen "pumppu" olisi mahdollinen. Tällöin maanalaisia öljysäiliöitä ei tarvitsisi vaihtaa. Riittäisi, että imettäisiin vain maasta takaisin rautaionit ja -atomit säiliön teräskuoreen. Elektrolyyttikennossa tämä olisi osittain mahdollista, mutta tällöinkin vain ulkoapäin tuodun sähkövirran avulla, jolloin jälleen kokonaisuuden entropia kasvaisi.

Eristetyssä systeemissä on siis entropian muutos $dS \geq 0$. Tämä ei kuitenkaan merkitse, etteivätkö paikallisesti materiaaliset järjestelmät voisi kehittyä toiseenkin suuntaan, kohti lisääntyvää rakenteellista ja toiminnallista monimutkaisuutta. Tällainen kehitys mahdollistuu, kun systeemi on avoin, jolloin sen entropian muutos voidaan ilmaista seuraavasti (katso esim. Bertalanffy von, 1967 sekä 1968):

$$dS = dS_e + dS_i$$

missä dS_i tarkoittaa systeemien sisäistä entropian kasvua, joka on aina positiivinen ja dS_e siihen ympäristöstä tuotua entropiaa, joka voi olla joko positiivinen tai negatiivinen.

Jos siis dS_e pystyy kompensoimaan systeemin sisäisen entropian kasvun dS_i niin on mahdollista, että syntyy sellainen tilanne, jossa systeemin entropia voi joko pysyä ennallaan tai jopa laskea. Biosfääri on tällainen kehittyvä avoin järjestelmä; se käyttää hyväkseen auringon matalan entropian varastojen hupenemista kosmisessa aikaskaalassa. Näin satojen miljoonien vuosien kuluessa biosfääri on pystynyt kehittymään hyvin korkean järjestäytyneisyyden asteen omaavaksi systeemiksi. Aineiden kiertokulut ovat lisäksi siinä määrin suljettuja, ettei elämän ympäristöönsä syöttämä korkean entropian virta koostu juuri kuin lämpösäteilystä, joka taasen poistuu avaruuteen.

Myös ihmisen tuotantoprosessi voidaan hyvin yleisellä abstraktiotasolla käsittää avoimeksi systeemiksi. Viime kädessä sekin käyttää hyväkseen auringon energiaa sekä maan pintakerrosten geologisia muodostumia. Tällöin tuotantoprosessin entropian muutos noudattaisi yhtälöä

$$dS = dS_e + dS_t + dS_{tv} + dS_{ty} + dS_{tu}$$

missä

dS_t = entropian muutos työvoimassa

dS_{tv} = „ „ työvälineissä

dS_{tu} = „ „ tuotteessa

dS_{ty} = „ „ työympäristössä

Koska inhimillisen tuotannon pääasiallisena tarkoituksena on nimenomaan tuotteen järjestyneisyysasteen kohtaminen ja muokkaaminen ihmiselle sopivaan muotoon, voidaan katsoa, että termi dS_{tu} on negatiivinen. (Crussard, C. 1981). Päinvastaisiakin työprosesseja esiintyy, mutta inhimillisen tuotannon yleinen suunta kulkee ko. suuntaan. dS_t , dS_{tv} ja dS_{ty} ovat positiivisia ts. työvoima ja työvälineet vain kuluvat ja työympäristönkin

entropia kasvaa. Ympäristöstä tulevan matalan entropian täytyy siis pystyä vähintään kompensoimaan tämä entropian kasvua ja mahdollisesti myös vähentämään tuotteen entropiaa. Näin inhimillinen tuotanto väistämättä kuluttaa ympäristön matalan entropian varastoja sekä toisaalta syöttää korkeaa entropiaa. Tarkemmin entropisista muutoksista työprosesseissa, katso (Honkasalo, 1979).

ENTROPIAKRIISI

Ihmiskunnan irtautuminen luonnontaloudesta on kestänyt tähän mennessä noin 10 000 vuotta. Edelleen maapallolla on jossakin määrin heimoja, jotka elävät keräilijämetsästäjätaloudessa. Noin 200 miljoonaa ihmistä harjoittaa kaskiviljelyä ja maailman väestön enemmistö saa toimeentulonsa maanviljelyksestä. Teolliset yhteiskunnat ovat vain enintään kaksi ja puolisataa vuotta vanhoja. Koko elämän kehityskaaressa ihmisen irtautuminen luonnontaloudesta on tapahtunut hämmästyttävän rajusti ja voimakkaasti; ihmisen alkujuurethan ulottuvat jonkin kahden ja puolen, jopa kolmen miljoonan vuoden päähän. Jos otamme yhden sukupolven iäksi 25 vuotta ja laitamme jonoon esi-isämme, niin näitä suoraan alenevassa polvessa on yli 100 000, kunnes tullaan simpanssin ja ihmisen yhteiseen esi-isään. Näistä on peräti 99 600 elänyt metsästäjä-keräilijätaloudessa, 390 maanviljelykseen perustuvassa yhteiskunnassa ja vain 10 koneteollisuuteen perustuvassa yhteiskunnassa. Suomessa ei luonnollisesti sitäkään.

Luonnontaloudessa ihmisen toiminta ei suuresti muuttanut luonnon olosuhteita. Maanviljelys saattoi saada suuriakin muutoksia aikaan ekologisissa järjestelmissä, mutta ihmisen luonnosta ottama matala entropia ja siihen syöttämä korkea entropia mukautuivat lähes täydellisesti luonnon omiin kiertokulkusysteemeihin. Toisin sanoen ihmiskunta käytti lähinnä uusiutuvia raaka-aineita, jotka palaututtuaan luontoon kulutuksen jälkeen olivat sellaisessa muodossa että luonnon kiertokulkujärjestelmät pystyivät niihin kerääntyneet atomit ja molekyylit kierrättämään. Koneteollisuus merkitsi periaatteellisesti aivan uutta kehitysvaihetta ihmiskunnan tuotannollisessa historiassa. Hiili alkoi syrjäyttää yhä enemmän polttopuuta ja vesivoimaa ja koska koneet rakennettiin metalleista, toisin sanoen alettiin myös korvata ihmistyötä ja kotieläimiä koneellisilla laitteilla, ihmiskunta alkoi yhä enenevässä määrin kuluttaa sellaisia matalan entropian varastoja, jotka olivat maapallon kehityshistorian aikana muodostuneet sen pintakerrosten uumeniin. Yhdysvalloissa 1880-luvulla hiili ohitti puun primäärinä energian lähteenä ja vuonna 1950 öljy hiilen. (Rifkin, 1980).

Samalla ihmiskunnan kehitysnäkymät tulivat ratkaisevasti riippuvaisiksi sellaisten luonnon matalan entropian varastojen kuin fossiilisten polttoaineiden ja metallimalmioiden riittävydestä ja hyödynnettävyydestä. Myös ihmisen luontoon syöttämä ainevirta alkoi koostua sellaisista yhdisteistä, jotka ovat luonnolle "vieraita" ja joita ekologiset järjestelmät eivät evoluution aikaisemmassa vaiheessa ole tottuneet kohtaamaan.

Aurinkoenergia muodosti ja muodostaa ihmisen kehityshistorian kannalta katsottuna lähes ehtymättömän matalan entropian varaston, eikä sen käyttö muuta kuin paikallisesti lämpötasapainoa maapallolla. Sen käyttöön ottoon laajassa mittakaavassa liittyy hyvin suuria teknil-

¹⁾ Jos olemme tarkkoja, pitäisi ehkä sanat järjestys (order) ja järjestelmä (system, organization) erottaa toisistaan. Tällöin entropia kuvaisi nimenomaan epäjärjestyttä. Järjestelmän vastakohta olisi ei-järjestelmä. Monimutkainen järjestelmä vaatii kuitenkin myös monimutkaista järjestystä ja näin ei tehtäne suurta virhettä tämännäköisessä yleisesityksessä kun nämä samaistetaan.

lisiä ja taloudellisia vaikeuksia. Aurinkoenergiaa on saatavissa lähes mittaamattomasti, mutta se lankeaa ikään kuin tasaisena pienten pisaroiden virtana maan pinnalle. Tarvitaan todella mahtavia teknologisia järjestelmiä, että tämä virta voitaisiin korjata talteen tavalla, jolla olisi merkitystä ihmiskunnan nykyisessä energiataaseessa. Pienissä käyttötarkoituksissa esim. omakotitalojen lämmityksessä jne. aurinkoenergialla on merkitystä.

Tietysti voidaan sanoa, että ihmiskunnan on yksinkertaisesti vain sopeuduttava sekä määränsä että elämisen laatunsa puolesta sellaiseen tilanteeseen, jossa aurinkoenergia eri muodoissaan esim. puuna, tuulena ja pelkkänä aurinkosäteilynä riittää energiatarpeen tyydyttämiseen. Itse asiassa huomattava osa maapallon väestöstä edelleen elää "aurinko"-taloudessa, sillä tekninen kehityshän on maailmassa hyvin polarisoitunutta. Kehitysmaat käsittävät 75 % maailman väestöstä. Niiden väestöstä valtaosa elää vielä hyvin alkeellisessa maataloudessa, jossa fossiilisten polttoaineiden osuus koko energia-tuotossa on melko pieni ja ihmislihaksin tuotetun voiman osuus suhteellisen suuri.

Kehitysmaiden käyttämän biomassapolttoaineen (sisältää esim. ruoan, oksat, risut, oljen, lannan jne.) energiasisältö on samaa suuruusluokkaa kuin kehittyneiden maiden fossiilisten öljypolttoaineiden käyttö (Smil, 1979). Pelkästään siis sen korvaaminen vaatisi kaksi kertaa nykyistä suurempaa öljypolttoaineiden käyttöä maailman mittakaavassa.

Kun vielä otamme huomioon, että maailman väkiluku kaksinkertaistuu noin 35 vuodessa ja ryhdyttiin minkälaisiin syntyvyyden säätelytoimiin tahansa, tulee se 2000-luvun alkupuoliskolla ylittämään 10 miljardin rajan, on ilmeistä, että sellaiseen teknologiseen käytäntöön perustuva tuotanto kuin esim. Suomessa nyt vallitsee, on koko maailman mittakaavassa mahdoton eikä tule koskaan toteutumaan. Jos halutaan turvata koko maailman väestölle korkea elintaso tarvitaan huomattavasti vähemmän raaka-aine- ja energiaintensiivistä teknologiaa ja tuotteita.

Teknologian kehitystä ennustettaessa on ainakin selvää, että öljytuotteiden hinta tulee nousemaan ja öljyn saatavuus vaikeutuu. 1980-luvun lopulla on täysin mahdollista, että öljyn kysyntä ylittää tarjonnan ja tällöin hintaa ei enää säätele edes OPEC vaan kysyntä ja tarjonta.

Näin on myös oletettavissa, että se maa, joka ensinnä lähtee radikaalisesti koko kansantalouden piirissä toteuttamaan energiansäästöohjelmia, vaikka mahdollisesti joutuukin jossakin määrin kamppailemaan kustannusnousujen kanssa lyhyellä tähtämellä, kuitenkin 10–20 vuoden kuluessa on vahvistanut teknologista perustaansa ja lisännyt kansainvälistä kilpailukykyään.

Tämänhetkisten raaka-ainearvioiden, hyödyntämisteknologian ja kulutusdynamikan perusteella arvioiden eräiden metallien, kuten esim. volframini, lyijyn, molybdeenin ja kullan puute 2000-luvun alkuvuosikymmenillä olisi ilmeinen (Temple, 1979). Toisaalta tällaisten ennusteiden esittämiin arvioihin on suhtauduttava varauksella, sillä kiihtyvistä kulutuksesta huolimatta kaikkien metallien tunnetut hyödyntämiskelpoiset varat ovat tois-taiseksi jatkuvasti lisääntyneet.

Termodynamiikan toisen pääsäännön valossa olisikin ehkä tähdellisempää ryhtyä arvioimaan, kuinka paljon metallimateriaalista itse asiassa poistuu vuosittain palautumattomasti käytöstä ja missä määrin tähän materiaavirtaan voidaan teknisesti vaikuttaa. Tämä poistumahan kertoo, kuinka paljon jo on käytetty kaikista helposti hyödynnettävistä esiintymistä kertakaikkisesti, ja se myös oleellisesti vaikuttaa siihen, missä määrin tulevaisuuden sukupolvilla on metallimateriaaleja käytös-sään. Jo yksistään korroosio ja sen aiheuttamat välilliset kustannukset syövät noin 4 % kehittyneiden maiden kansantuotteesta.

Romun käytön lisäämisellä voidaan jossakin määrin metallien teknistä kiertokulkua pitkittää, mutta mitään kovin oleellista vaikutusta tällä tuskin enää tulee olemaan. Tietyn optimin jälkeen romun talteenotto kuluttaa jo enemmän matalaa entropiaa kuin mitä säästetään.

Taulukko 1. Romun osuus eräiden metallien kulutuksesta (%) (Teollisuusneuvottelukunta, 1979).

Table 1. Scrap in the consumption of some metals (%).

	Saksan liitto- tasavalta (1974)	Yhdysvallat (1970)
Alumiini	27	17
Lyijy	45	44
Kupari	30	44
Sinkki	22	17
Tina	37	...

Pelkästään rauta- ja teräsvalimoissa ovat ainehäviöt (sulatushäviöt, valuhäviöt, irroitushäviöt ja puhdistushäviöt) eli aineosuus, jota ei voida käyttää kiertoromuna ja joka ei "esineellisty" tuotteeseen noin 5 % (Suvanto, 1971).

Metallien saannin turvaaminen on myös oleellisesti riippuvainen energian saannista. Vaikka metallien hintoihin vaikuttavat muutkin tekijät kuin energian hinta, ovat niiden valmistuskustannukset silti ratkaisevassa määrin riippuvaisia energiakustannuksista. Siirryttäessä yhä köyhempiin malmivaroihin on odotettavissa, että ko. riippuvuusuhde ilmeisesti vain lisääntyy.

TEKNILLISTEN JÄRJESTELMIEN TURVALLISUUSTASO

Tekniikan kehittyessä metallisille materiaaleille asetetaan yhä suurempia "suorituskykyvaatimuksia", ja tämä tavallisesti johtaa siihen, että niiden oma sisäinen rakenne monimutkaistuu ja ne ovat tavallisesti yhä kauempana termodynaamisesta tasapainotilasta ja näin myös niillä on pyrkimys entropian kasvun lain vaikutuksesta muuttua tilaan, jossa järjestäytyneisyys- ja erilaistumisaste on laskenut.

Näitä metallirakenteitahan ei luonnossa esiinny, vaan ihminen on saanut ne aikaan melkoisella energian käytöllä (kokonaisuuden entropian kasvulla)¹. Niinpä ne ennemmin tai myöhemmin käytännön olosuhteissa läpikäyvät rakenteellisia muutoksia, joiden kautta niiden

¹) Entropisia muutoksia materiaalien valmistuksen eri vaiheissa on tarkastellut havainnollisesti esim. Crussard (1980).

metastabiili rakenne "purkautuu". Tämä materian järjestäytyneisyysasteen vähentäminen voi tapahtua monella eri tavalla: hapettumalla, korroosion aiheuttamana liukenemisena, murtumisena (sitkeä murtuma, lohkomurtuma, väsymysmurtuma), virumisena, faasimuutosten ja erkautumien karkenemisen aiheuttamana lujuus- ja sitkeysominaisuuksien laskuna jne. Koska teollisissa prosesseissa otetaan käyttöön yhä agressiivisempia kemiallisia yhdisteitä, korkeita lämpötiloja, uusia energiamuotoja, radioaktiivisia aineita jne., niin samalla ei vain metallien oma rakenne monimutkaistu, vaan myös metalliseos-ympäristö-systeemi komplisoituu. Tästä saattaa olla seurauksena, että samalla myös erilaisten mikroskooppisessa skaalassa tapahtuvien rakenteiden "purkaantumislmiöiden" vaikutukset voivat olla hyvin tuhoisia ja potentiaalinen katastrofiriski kasvaa. Ydinvoimaloiden jännityskorroosiomurtumat ovat hyvä esimerkki: passiivisen pintakerroksen atomaarinen häiriintyminen voi johtaa murtumiin ja pahimmassa tapauksessa ydinsasteen leviämiseen lähiympäristössä.

Teknisten järjestelmien monimutkaistuminen, niiden metastabiili luonne, asettaa myös yhä kasvavia vaatimuksia kaikenlaiselle turvallisuusteknologialle ja riskianalyysille. Ei riitä, että työskentelyolosuhteet ovat turvalliset ja saastekuorma ympäristöön on pieni, vaan on pystyttävä myös määrittelemään erilaisten riskien todennäköisyys ja oletettu esiintymistiheys tulevaisuudessa sekä säätelemään tietoisesti myös tätä tekijää. On siis kehitettävä myös sellaisia tehokkuuskriteerejä, joiden avulla voidaan verrata vaihtoehtoisten teknologisten prosessien kokonaiskustannuksia ja tuotosta niiden koko odotettavissa olevan toimintaiän puitteissa.

KOVA JA PEHMEÄ TEKNOLOGIA

Teknologian "kovuus" eli miten se rasittaa luonnonjärjestelmiä, on itse asiassa usein melko vähän riippuvainen itse teknologiasta, teknologisten järjestelmien suuruudesta tai pienuudesta taikka niiden automatisointiasteesta. Ratkaisevaa on se, miten ko. järjestelmää ohjataan ja mitkä ovat sen käytön tavoitteet. Metsiä on aikanaan hävitetty hyvinkin alkeellisella teknologialla ja hävitetään edelleenkin. Voidaan jopa väittää, että kehittämättömällä maanviljelysmenetelmillä kehitysmaissa tällä hetkellä aiheutetaan tuhoa luonnolle, joka saattaa olla jopa suurempaa kertaluokkaa kuin kehittyneiden teollisuusmaiden aikaansaamat häiriöt biosfäärissä (Lovelock, 1979). Esimerkiksi aavikoitumisen leviäminenkin saadaan aikaan hyvin alkeellisen maanviljelyskulttuurin avulla.

Monet teknologiset prosessit ovat lisäksi luonteeltaan sellaisia, että sekä kustannukset, ympäristöhaitat että tuotteen laatu ovat optimissaan tietyn kriittisen koon jälkeen. Mao Tse Tung yritti kulttuurivallankumouksen myötä hajasijoittaa teräksenvalmistuksen maaseutukyliin; seuraukset olivat katastrofaaliset.

VÄLTÄMÄTÖN MATALAN ENTROPIAN VARASTOJEN KULUTUS

Tarkasteltaessa kuinka paljon luonnon matalan entropian varastoja vähintään tarvitaan yhden ihmisen elättämiseen, voidaan todeta, että perusaineenvaihduntaan tarvitaan noin 6000—7000 kJ/vrk, vapaa-ajan kulutus on noin 3000 kJ/vrk (Spitzer, Hettinger, 1969) ja riippuen työn raskausasteesta kokonaisenergian tarve voi kasvaa aina

20 000 kJ/vrk. Ihminen ei pysty oman elimistönsä energiantarvetta tyydyttämään kuin tietyillä orgaanisilla yhdisteillä, jotka ovat hänen biologisen kehityksensä aikana muodostaneet hänen ravintonsa. Tosin hän voi tehostaa näiden tuotteiden satoa nelimetreä kohti käyttämällä fossiilisia ja muita uusiutumattomia energialähteitä, mutta tällöin energeettinen hyötysuhde tavallisesti laskee. Niinpä onkin arvioitu, että tavallisen englantilaisen ravinnon valmistamiseen (kaupan hyllylle asti) käytetään tällä hetkellä vuosittain noin kivihiilitonnin sisältämä energiamäärä. Tulevaisuudessa pystytään mahdollisesti ihmisen ravintonaan käyttämiä orgaanisia yhdisteitä valmistamaan suoraan öljystä ja kivihiilestä synteettisesti, mutta tällöinkin luonnollisesti ihminen voi käyttää hyväkseen vain biologisesti määräytyneitä ravintoaineita. On myös selvää, että on olemassa tietty minimipinta-ala, joka yhden ihmisen ravintotarpeen tyydyttämiseen tarvitaan. Pahimmassa tapauksessa öljyn hinnan noustessa rikkaiden maiden autot käyttävät "gasoholia" eli bensiiniin lisätään viljasta tuotettua alkoholia, ja näin köyhät joutuvat kilpailemaan konkreettisesti ruoasta autojen kanssa. Auto tarvitsee keskimäärin vuodessa noin 10 kertaa enemmän viljaa tässä tapauksessa kuin aikuinen mies. (Brown, L., 1980).

Primitiivisille yhteisöille, jotka käyttävät vain aurinگون energiaa tarvittava maapinta-ala on noin 0,00025—0,000025 henkeä/m² (Odum, 1971).

Eriytyisen tärkeätä ihmiselle on proteiinien saanti, joita täysikasvuinen mies tarvitsee noin 80 g/vrk. Hyvin tärkeää osaa tässä ainevirrassa näyttelee lisäksi ilman kulku läpi ihmisen keuhkojen. Näin ollen on myös olemassa tietty minimi-tilavuus, jonka sisältämä ilmamäärä tarvitaan yhden ihmisen hengitystoiminnan ylläpitämiseksi. Koska kasveilla on tärkeä merkitys ilmakehän koostumuksen säätelijänä, on tämä tilavuus sidoksissa myös koko biosfäärin kehitykseen ja toimintaan.

Oheisten matalan entropian varastojen lisäksi ihmisen uusintamiseen tarvitaan myös vaatteita, asuntoja, koulutusta, kulttuuripalveluja jne. Näihin tarpeisiin vaikuttavat ratkaisevasti yhteiskunnalliset tekijät. Tämän lisäksi on tietysti ratkaisevaa kuinka suuri määrä ihmisiä maan pinnalla asustaa.¹

JOHTOPÄÄTÖKSET

Biosfäärillä on elävänä järjestelmänä tietty kyky eliminoida ihmisen tuotannollisen toiminnan siinä synnyttämää entropian kasvua, mutta tämä ominaisuus on luonnollisesti rajallinen. Kun tänä päivänä esim. tuotannollinen typen tuotto on puolet luonnossa kiertävästä tyypeistä ja energian kulutus 20 % biosfäärin kokonaiskulutuksesta, on vaikea käsittää miten ekosysteemit pystyisivät sopeutumaan

¹) Onpa uusintamisedellytysten turvaamiseksi ja luonnonvarojen säästämiseksi jopa ehdotettu ihmisen koon pienentämistä, sillä 5 %:n lisäys pituuskasvussa merkitsee 10 %:n ulkopinnan lisäystä ja näin 10 %:n lisäystä vaatemenoihin, samalla paino lisääntyy 16 % sekä ruuan kulutus. (Samars, T. 1978). Tosin pelkästään liikalihavuus kehittyneissä teollisuusmaissa sitoo energian, joka vastaa noin 50 000 000 intialaisen vuotuista energiankulutusta (Hanon, Lohman, 1978).

suhteellisesti näin suuriin materia- ja energiavirtoihin. On myös ajateltavissa, että ekologisten järjestelmien reagointi ihmisen tuottamiin saasteisiin johtaa muutoksiin, jotka ovat ekologisten järjestelmien itsensä säilymisen kannalta tarkoituksenmukaisia, mutta haitallisia ihmiselle (Lovelock, 1979).

Elämä näyttääkin tähän asti maapallon pintakerroksissa kulkeneen kohti yhä monimutkaisempaa materia- ja energian järjestystä (yhä matalammalle entropian asteelle) ja samalla se on ihmisen kehityksen myötä tullut tietoisiksi itsestään ja pystyy lopulta tietoisesti myös säätelemään suhdettaan ympäristöönsä.

Periaatteessa sellainen tasapainotila olisi mahdollinen, jossa ihminen ja luonnon ekologiset järjestelmät aurion energian avulla eliminoisivat sen entropian kasvun, jonka inhimillinen tuotanto ympäristölleen aiheuttaa; tämä vaatisi kuitenkin niin perusteellista tuotannon uudelleen järjestelyä, ettei se tunnu yhteiskunnallisesti mahdolliselta ainakaan lähitulevaisuudessa. Raaka-ainetta ja ympäristöongelmien voi siis olettaa vain kärjistyvän.

Georgescu-Roegen (1977) on hahmotellut eräitä näkökohtia siitä, miten entropian kasvun laki tulisi ottaa huomioon taloudellisen toiminnan reunaehtoja määrittäessä.¹ Nämä bio-ekonomiset teesit tähtäävät lähinnä uusiutumattomien luonnonvarojen kulutuksen minimoimiseen ja ne ovat vain tavoitteita, joiden toteuttumismahdollisuuksia ts. niiden muodostumista reaalisesta kansantaloudellisen toiminnan "ohjausarvoiksi" Georgescu-Roegen ei edes käsittele.

Nähdäkseni niin toivottavaa kuin kaikkalainen raaka-aineiden ja energian säästäminen erityisesti kehittyneissä maissa olisikin ei ole itsestään selvää, että ainakaan lähitulevaisuudessa pitäisi pyrkiä matalan entropian varastojen käytön mahdollisimman suureen minimoimiseen. Paljon tärkeämpi kysymys on, miten luodaan yhteiskunnalliset ja taloudelliset edellytykset muutokselle, joka johtaa siihen, että ihmiskunta alkaa olla kykenevä ohjaamaan tuotantovoimiansa kehitystä tähän suuntaan. Vaihtoehdot liikkeetkin kyllä aivan oikein näkevät ne vaarat, joita nykyinen teknologinen käytäntö ympäristölle synnyttää, mutta mielestäni ne aliarvioivat yhteiskunnallisten tekijöiden merkitystä ympäristöongelmien alkusyyinä, ja vielä enemmän, yrittävät väheksyä ihmiskunnan mahdollisuuksia saattaa tuotantonsa sopusointuun luonnon kiertokulkujärjestelmien kanssa.

Inhimillinen kulttuuri ja tiede ovat biologisen evoluution tuote, eivät sen vastakohta. Ekologinen ajattelu, joka ei halua turvata sivistyksen, tieteen ja kulttuurin kehitysnäkymiä, joka ei näe niitä suojelemisen arvoisina, vaan jopa kaiken pahan alkuna, ei varmasti ole vastaus tulevaisuuden haasteisiin.

KIRJALLISUUS — REFERENCES

1. Bertalanffy von L., General System Theory, Braziller, New York 1968.
2. Bertalanffy von L., Robots Mens and Minds, Braziller, New York 1967.
3. Brown, L., Fuel Frams of the Future, The Futurist, 3/1980.
4. Crussard, C., New Concepts in Thermodynamics applied to Materials in Industry, Met. Transactions B, 3/1981.
5. Georgescu-Roegen, N., The Entropy Law and Economic Process, Harvard University Press 1971.
6. Georgescu-Roegen, N., Energy and Economic Myths, in: Modern Trends in Cybernetics and Systems, vol 1, Springer Verlag, Berlin 1977.
7. Hannon, B. M., Lohman, T. G., The Energy Cost of Overweight in the United States, AIPH 1978, vol. 68, No 8.
8. Harrison, M. J., Entropy concepts in Physics, in Entropy and Information in Science and Philosophy, Edited by Kubat, L., Zehman, I., Elsevier Amsterdam 1975.
9. Honkasalo, A., Ergonomian luonnontieteellinen perusta, Tekniikka 9/1979.
10. Lovelock, J., GAIA, A New Look at Life on Earth, Oxford University Press, 1979.
11. Odum, H. T., Environment, Power and Society, Wiley — Inter Science, New York 1971.
12. Pedler, K., The Quest for Qaia, Souvenir Press, London, 1979.
13. Rifkin, J., Entropy, A New World View, Viking Press, New York, 1980.
14. Samars T., Short is beautiful, The Futurist 8/1978.
15. Spitzer, H., Hettinger, Th., Tafeln für den Kalorienumsatz bei körperlicher Arbeit, Beuth-Vertrieb GmbH, Berlin, Köln, Frankfurt am Main 1969.
16. Smil, V., Energy Flows in the Developing World, American Scientist, Vol 67, September — October, 1979.
17. Sulanto, P., Valimon erityislaskenta, Valimon kustannusten tarkkailu, INSKO, 7—71.
18. Temple, A., Extractive metallurgy — a glimpse of things to come, Presidential address to the Institution of Mining and Metallurgy, IV, May, 1979.
19. Teollisuusneuvottelukunta, Suomen teollisuus maailmantaloudessa, tammikuu 1979.

SUMMARY

THE ENTROPY LAW AND GLOBAL

PROBLEMS OF HUMANKIND

Human production process eventually utilizes the low-entropy source of the sun as well as the geological formations of Earth's surface. This process accumulates negentropy into the human society, mostly into humans and into the means of production. In this way, waste (increase of entropy) is, from the viewpoint of the environment, the end product of human productive process. Part of the waste radiates as heat into the space, part is eliminated by ecological processes with the means of solar energy. An increasing proportion of human labor force is however needed for the prevention of effects deleterious to ecological systems. Such state of balance is in principle conceivable in which man and the ecological systems of nature would eliminate, with solar energy, that proportion of increase in entropy in the environment which is caused by human production. This would, however, require a fundamental reorganization of production unlikely to be achieved, at least in the near future. The central problem is not of separate energy and raw material issues; basically the question is on **entropy crisis**, of diminishing pools of natural low entropy, and, on the other hand, of excessive input of high entropy into the biosphere.

¹) Vielä pitemmälle menevät Rifkin (1980) ja Pedler (1979), joka tekevät entropian kasvun vastustamisesta eräänlaisen uskonnon.

Teollisuusmineraaliseminaari Otaniemessä 6. 11. 1981

Prof. Toimi Lukkarinen, Teknillinen korkeakoulu, Vuoriteollisuusosasto, Otaniemi

Rikastus- ja prosessitekniikan jaosto järjesti yhteisesti geologijaoston kanssa teollisuusmineraaliseminaarin Otaniemessä 6. 11. 1981. Seminaari pidettiin TKK:n Kemian osaston suuressa luentosalissa runsaan osanottajamäärän toivossa. Tilaisuuteen otti osaa runsaat 100 henkeä. Kaikki seitsemän esitelmää sisältävä seminaarikansio on saatavissa Vuorimiesyhdistykseltä.

TAUSTA

Asiaa koskeva idea kypsä monessa eri vaiheessa edellisten vuorimiespäivien jälkeen. Ensimmäinen ja tärkein oli "ahaa-elämys": rikastusjaosto se muuten järjestää teollisuusmineraaliseminaarin syksyllä. Malmit loppuvat, mutta onhan Suomessa kiveä, joten teollisuusmineraaleista kyllä kannattaa messuta. Toinen vaihe sisälsi pelkoa ja paniikkia: mistä meidän jaostomme saa irti viisi, kuusi esitelmää ja niille vielä asialliset aiheet, kun Siilinjärveä on jauhettu monta kertaa peräkkäin. Kolmas ja ratkaiseva oli oivallus, että pyydetään geologit mukaan ja pidetään yhteinen seminaari. Geologithan tietävät paljon näistä asioista ja sitä paitsi varsinkin syksyllä puhuvat mielellään.

Kun asia tuntui saavan vastakaikua harjoitusmateriaalina käytettyjen TKK:n geologiiden piirissä, oli aika esitellä se geologijaoston puheenjohtajalle. Molemminpuolinen yhteistyö- ja seminaarisopimus syntyikin vaivattomasti, ja liputuspäivä, marraskuun kuudes tuntui sopivan hyvin seminaarin pitoon.

Kummankin sopijapuolen taholta saatiin helposti kolme esitelmöitsijää, mutta johdantoesitelmän kohdalla oli vaikeuksia, oli turvaututtava maanitteluun, viekkauteen ja vaikka mihin.

ESITELMÄT

Rikastus- ja prosessitekniikan jaoston puheenjohtaja avasi tilaisuuden muutamin vaatimattomien ajatuksin, minkä jälkeen johtaja Väinö Juntunen Oy Lohja Ab:stä piti johdantoesitelmän aiheenaan: "Teollisuusmineraalit Suomessa."

Esitelmöitsijä antoi selkeän kuvan maamme teollisuusmineraalien tuotannosta v. 1980 ja vertasi teollisuusmineraalien hyväksikäyttöä muuhun kaivostoimintaan viime sotien jälkeisenä aikana. Teollisuusmineraalien tuotanto oli ilman kalkkikiveä v. 1980 hieman yli 3 milj. t, mikä vastaa 18 % maamme koko louhinnasta. Lähivuosina määrä tulee kasvamaan n. 6,5...7 milj. t/a saakka, mikä yhdistettynä kalkkikiven tuotantoon nostaa vuotuisen louhinnan 10 milj. tonniin.

Omavaraisuudet tulevat lähivuosina olemaan lannoiteteollisuudessa n. 70 %, paperiteollisuudessa täyte- ja päällysteaineiden osalta n. 50...60 % sekä lasi- ja keraamisen teollisuuden kvartsin ja maasälvän osalta n. 90 %. Paperiteollisuudessa lienee talkin käyttöä enää

vaikea lisätä, mutta hyvälle kaoliinille olisi tilaa markkinoilla.

Kaoliinin ohella myös grafiitti olisi käyttökelpoinen mineraali.

Esitelmän lopputoteamus oli:

- Maassamme toimii Euroopan ainoa merkittävä wolastonitit vaahdotuslaitos.
- Suomeen rakennettiin Euroopan ensimmäinen maasälvän vaahdotusrikastamo.
- Lahnaslammelle tehtiin Euroopan ensimmäinen paperiteollisuuden tarpeita palveleva talkkirikastamo.
- Siilinjärven rikastamo on koko maailmassakin harvinainen runsaasti karbonaatteja sisältävää apatiittimalmia vaahdottava laitos.

FM Rolf Boström, Oy Partek Ab: "Litiumpegmatiitit ja spodumenitutkimukset Pohjanmaalla."

Maisteri Boström totesi aluksi, että aikaisemmin litiumin pääasiallisimpina raaka-aineina olleiden litiumpegmatiittien rinnalle ovat viime aikoina tulleet suolajärvien suolamuodostumat.

Keski-Pohjanmaan spodumenipitoiset pegmatiitit ovat olleet tiedossa jo 1950-luvun loppupuolelta asti. Osa näistä esiintymistä on tähän mennessä tutkittu ja inventoitu. Ullavan spodumeni on osoittautunut olevan vaahdottamalla rikastettavissa. Rikaste voidaan jalostaa joko litiumsuoloiksi tai puhtaaksi litiumiksi. Spodumenin sivutuotteina saataisiin kvartsia, maasälvää ja kiillettä.

Lopuksi esitelmöitsijä selvitteli erittäin valaisevasti litiumin eri käyttöaloja.

FM Reijo Saikkonen, Oy Lohja Ab: "Kvartsi teollisuusmineraalina."

Kvartsi on monikäyttöinen teollisuusmineraali. Sen koostumus on lähes vakio. Teollisuusmineraaliksi soveltuva kvartsi saadaan sekä kallioperästä että hiekkamuodostumista.

Suomessa kvartsia tuotetaan Nilsiässä, Kemiössä, Tervolassa, Keminmaalla ja Viasvedellä Porin lähellä.

Kvartsin pääasiallisimpia käyttäjiä ovat seuraavat teollisuusalat:

- lasi- ja keraaminen teollisuus
- rauta- ja terästeollisuus
- valimot
- metallurginen teollisuus
- kemiallinen teollisuus
- rakennusaineteollisuus.

Elektroniikan piirissä käytetään kvartsikiteitä. Lisäksi kvartsia käytetään mm. puhallus-, pinnoite-, suodatus- ja hionta-aineena. Kun kvartsi on hinnaltaan halvimpia teollisuusmineraaleja, saavat syrjäiset esiintymät olla rauhassa.

FL Yrjö Pekkala, Geologinen tutkimuslaitos: "Kaoliinin esiintyminen Suomessa."

Suomeen tuodaan vuosittain kaoliinia n. 400 000 t, mi-

kä vastaa nykyisten hintojen mukaan n. 200 milj. mk. Paperiteollisuus käyttää tästä määrästä yli 90 %. Päälysteen osuus siitä on yli 50 %.

Suomessa on monia kaoliiniesiintymiä, mutta vain muutamia kooltaan merkittäviä. Tärkeimmät ovat:

- Kittilän Lonnakko
- Sodankylän Siurunmaa
- Puolangan Pihlajavaara.

Kaikki maamme tärkeimmät kaoliiniesiintymät liittyvät serisiitti- tai arkoosikvartsiitteihin tai kiilleliuskeisiin. Kaoliinin laatu ja väri vaihtelevat suuresti samankin esiintymän puitteissa. Tämän hetken tärkein kaoliinintutkimuksen ongelma on sellaisen rikastus- ja puhdistusmenetelmän kehittäminen, jonka avulla saataisiin paperin päällysteeksi kelpaava laatu taloudellisesti kannattavaksi.

DI Hannu Haveri, Yhtyneet Paperitehtaat Oy, Suomen Talkki: "Talkki teollisuusmineraalina."

Teollinen talkin tuotanto alkoi Suomen Talkin toimesta Lahnaslammella v. 1969, Oy Lohja Ab aloitti tuotannon Vuonoksessa v. 1977 ja Myllykosken Paperi Oy Luikonlahden kaivoksella kolme vuotta myöhemmin. Maamme talkin tuotanto on n. 250 000 t/a, mikä vastaa 6 % maailman tuotannosta. Suomi sijoittuikin talkkitilastoissa peräti kuudennelle sijalle.

Suomalaista talkkia käytetään pääasiassa paperiteollisuudessa. Talkkille asetettavat laatuvaatimukset ovat talkkipitoisuus, raekoko ja tuotteen käsiteltävyyys.

Esimerkkinä talkin rikastamisesta ja tuotteen markkinointikelpoiseksi saattamisesta esitelmöitsijä selosti Lahnaslammien rikastamon toiminnan pääpiirteet.

TkT Kari Heiskanen, Larox Oy: "Teollisuusmineraalien

luokitus," esitelmän piti tekijän estyneenä ollessa DI Harri Eronen, Larox Oy.

Esitelmässä käsiteltiin sekä kuivana että märkänä ta-
pahtuvaa teollisuusmineraalijauheiden luokitusta. Aluksi esiteltiin erilaisia luokitustulosten esittämistapoja ja eri-
laisten luokittimien keskinäisen paremmuuden vertailu-
mahdollisuuksia. Tähän ei ole ehdotonta menetelmää
olemassa, sillä jos huomio kiinnitetään hienon tuotteen
saantiin ja laatuun, jää karkea fraktio tavallaan huomio-
mioon ottamatta. Ns. Trompin käyrä osoittaa visuaalisesti,
miltä tulos näyttää.

Eri luokitintyyppien rakenne esiteltiin lyhyesti ja samalla käsiteltiin niiden erotusraja-alueita.

DI Heikki Laapas, TKK: "Petrolisulfonaatit teollisuusmineraalien vaahdotuksessa".

Tässä esitelmässä käsiteltiin aluksi vaahdotuksen "pinnallista" puolta sovelletuna silikaattimineraaleihin. Kun viime mainitut poikkeavat usein vain vähän toisistaan, on niiden erottaminen vaahdottamalla vaikea tehtävä. Eräissä tapauksissa tässä on onnistuttu vaahdottamalla petrolisulfonaateilla alhaisessa pH:ssa.

YHTEENVETO

Tilaisuuden jälkeen kävi ilmi eräiden käytäväpuheen-
vurojen perusteella, että tämän kaltaisen yhteisen seminaarin järjestäminen oli onnistunut toimenpide. Sen puitteissa saatiin geologit ja rikastajat ruotimaan yhteisiä asioita eri näkökulmista katsottuna, mitä muuten tapahtuu perin harvoin eri yhtiöiden palveluksessa ole-
vien kesken. Vaikka esitelmien jälkeinen keskitetty keskustelu jäikin suhteellisen vähäiseksi, tuntui sekä kahvi-
että lounastauko olevan sitäkin antoisampi.

s. 85 →

Stiftelsen Bergteknisk Forskning (BeFo)

- Bergmekanikdag 1981 ¹⁾
- Bergmekaniska mätsystem ¹⁾
- Eldrift under jord ¹⁾
- Ramprogram för bergteknisk forskning 1981—83 ¹⁾

Högskolan i Luleå

- 1980:37 T- "Förenklad belastningscykel för diesel-drivna fordon under jord", slutrapport ¹⁾
- 1980:47 T "Skutspräckning — alternativ till borrhning och sprängning" ¹⁾

Bergforskningen — BVLI

- TR 47/3 "Rensing av gruvevann — laboratorieforsøk med gruvevann fra Løkken" ²⁾
- TR 50 "XRF — og neutronanalyseteknikk i malmletting" ²⁾
- TR 51 "Arbeidsmiljø i oppredningsverk" ²⁾
- TR 52/1 "Gruveplanlegging — Noen muligheter for bruk av operasjonsanalytiske metoder" ²⁾
- TR 53 "Doseringssystemer for agenser" ²⁾
- TR 54 "Fotogrammetri under jord"

Tutkimusvaltuuskunta on puolestaan toimittanut pohjoismaisille sisarjärjestöilleen seuraavat suomenkieliset tutkimuslausekkeet: A 52, A 58, A 61/1, A 62, A 63 ja A 64 ja seuraavat ruotsinkieliset lyhennelmät: A 52 ja A 58. Näiden lisäksi on lähetetty osoitekalenteri.

Esiselvityksiä on esitetty yhteispohjoismaisissa kokouksissa.

¹⁾ Tutkimuslausekkeitä on saatu vain yksi kappale, joka on lainattavissa sihteeriltä.

²⁾ Tutkimuslausekkeitä on saatu 30 kpl, joita on lähetetty kannattaville jäsenyrityksille.

Antti Öhberg
sihteeri

VUORIMIESYHDISTYS — BERGSMANNAFÖRENINGEN ry:n

VUOSIKOKOUS

pidetään Helsingissä 25.—26. 3. 1983

Kokouksesta ilmoitetaan tarkemmin myöhemmin postitettavassa kutsussa.

VUORIMIESYHDISTYS — BERGSMANNAFÖRENINGEN ry:s

ÅRSMÖTE

hålles i Helsingfors den 25.—26. 3. 1983

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



Kuva 1. Oikealla lahjoittajien edustaja Y. Shuktshov sekä L. K. Kauranne ja Lahja Voutilainen Geologisesta tutkimuslaitoksesta.

ARVOKAS KIRJALAHJOITUS

Elokuun viimeisenä päivänä 1981 avattiin SNTL:n kulttuuri- ja tiedekeskuksessa vuoriteollisuuden koneita ja malmeja koskeva kirjanäyttely. Näyttelyssä oli yhteensä 210 oppi- ja käsikirjaa, jotka käsittelivät alan uutta tietoa, sillä ne oli painettu vuosina 1977—1981. Näyttelyn päätyttyä nämä teokset lahjoitettiin Geologiselle tutkimuslaitokselle.

Lahjoituskirjeessä sanotaan mm.:

”Sosialististen Neuvostotasavaltojen Liiton Tieteen ja Tekniikan Valtionkomitea lahjoittaa näyttelyn teokset toivoen, että kirjat paitsi hyödyntävät Suomen tiedemiehiä ja insinöörejä heidän työssään myös edistävät maittemme välistä vuoriteollisuuden yhteistyötä.” Lahjoituskirjeen allekirjoittajana on Galina Djakova.

Lahjoitetuista kirjoista 30 kpl jäi Geologisen tutkimuslaitoksen kirjastoon, joka näin sai erinomaisen lisän jo ennestään ehkä länsimaiden parhaaseen neuvostoliittolaisen geologisen kirjallisuuden kokoelmaansa. 130 teosta toimitettiin edelleen Teknillisen Korkeakoulun vuoriteollisuusosastolle. Luettelo näistä kaikista kirjoista on halukkaiden nähtävissä Geologisen tutkimuslaitoksen informaatiotoimistossa.

Kiitän myös tässä yhteydessä SNTL:n Tieteen ja Tekniikan Valtionkomiteaa sekä kulttuuri- ja tiedekeskusta Geologisen tutkimuslaitoksen ja Teknillisen Korkeakoulun puolesta arvokkaasta kirjalahjoituksesta. Samalla toivon, että ei ainoastaan vastaanottaneiden laitosten henkilökunta vaan myös muut alalla työskentelevät käyttäisivät tilaisuutta hyväkseen tutustuakseen uusimpaan neuvostoliittolaiseen kaivostekniikkaan.

L. K. Kauranne



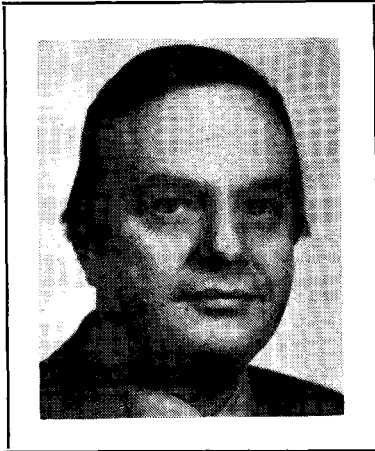
Kuva 1. Vasemmalta Raimo Pulkkinen, Martti Sulonen ja Aimo Mikkola.

PETTER FORSSTRÖM PRIS —

PETTER FORSSTRÖM PALKINTO

Vuoriteollisuus-lehden toimituskunnan tekemän ehdotuksen perusteella on Vuorimiesyhdistyksen hallitus 3.3.1982 pitämässään kokouksessa päättänyt myöntää Petter Forsström pris — Petter Forsström palkinnon tekn.lis. Raimo Pulkkiselle ja prof. Martti Suloselle, Teknillinen korkeakoulu, Vuoriteollisuusosasto, Metallien muokauksen ja lämpökäsittelyn laboratorio, Otaniemi, heidän Vuoriteollisuus-lehdessä v. 1981 n:ossa 2 julkaisemastaan artikkelista ”Metallien abraasio- ja eroosiokuluminen”.

Artikkelissa esitetään metallien kulumisen eri mekanismeja, niiden edellytykset ja sisäiset lait sekä painotetaan kulumistapahtuman riippuvuutta koeolosuhteista. Terästen ja valurautojen kulutuskestävyyttä selvitetään vertaamalla käytännön ja laboratoriokokeiden tuloksia toisiinsa. Artikkelilla on mielenkiintoa koko vuoriteollisuuden alueella.



SEPPO HÄRKKI

29. 2. 1936 — 4. 12. 1981

Joulukuun 4. päivänä 1981 levisi suruviesti Outokumpu Oy:n Teknillisen Viennin Olarin laitoksilta: Engineering osaston vasta nimitetty johtaja dipl.ins. Seppo Härkki oli poistunut vuorimiesten joukosta sinne, mistä paluuta ei ole.

Kun järkyttävä tieto tavoitti Sepon ystävät, työtoverit ja liiketuttavat niin kotimaassa kuin ulkomaillakin, oli kaikkien reaktio: tämä tapahtui inhimillisesti katsoen aivan liian aikaisin.

Seppo Härkki oli syntynyt Viljakkalassa 29. 2. 1936, kirjoittanut ylioppilaaksi Tampereella 1955 ja valmistunut metallurgian diplomi-insinööriksi Teknillisen Korkeakoulun vuoriteollisuusosastolta vuonna 1962. Samana vuonna hän tuli Outokumpu Oy Harjavallan tehtaitten sulattoon käyttöinsinööriksi, ja osastopäälliköksi hänet nimitettiin v. 1968. Vuonna 1973 hän siirtyi vasta perustettuun Teknilliseen Vientiin palvelemaan liekkisulatusmenetelmän markkinointia, suunnittelua, rakentamista ja käynnistystä eri puolilla maailmaa. Hänen ammattitaitonsa liekkisulatuksen kehittämisessä ja tunnetuksi tekemisessä nautti arvonantoa, paitsi Outokumpu-yhtiön piirissä, myös laajalti maamme rajojen ulkopuolella, kaikkialla missä kuparin ja nikkelin metallurgiaa harrastetaan.

Näissä tehtävissään hän joutui laajalti matkustamaan eri puolilla maailmaa, neuvotellen, esitelmöiden ja rakentaen suhteita ulkomaisiin alan yrityksiin ja niiden metallurgeihin.

Ystäville ja työtovereille jäi muisto Seppo Härkistä optimistisena ja sovinnollisen rakentavana metallurgina. Vuorimiehet kunnioittavat hänen työtään ja muistoaan.

Vuorimiesyhdistykseen hän kuului vuodesta 1962 lähtien.



VALTO VELTHEIM

26. 3. 1915—23. 12. 1981

Jouluksi saimme yllättäen viestin, joka kertoi valtioneurologi Valto Veltheimin poistuneen keskuudestamme äkillisen sairauskohtauksen murtamana. Syntyjään terijokelainen Valto Veltheim oli käynyt oppikoulua Viipurissa, tullut ylioppilaaksi Helsingin yhteislyseosta 1936, suorittanut fil.kand.tutkinnon 1948 pääaineenaan geologia ja mineralogia ja väitellyt tohtoriksi 1962.

Sotien katkomana opiskeluaikanaan sai Valto Veltheim monipuolisen kenttätöskoulutuksen, minkä lisäksi hänellä oli sekä kodin että Viipurin perua taitoa ja harrastusta vieraisiin kieliin. Näiden avujen turvin hän rohkeni tarttua tilaisuuteen ja lähteä 1949 kolmeksi vuodeksi Brasiliaan soveltamaan suomalaista peruskalliotietoutta sikäläiseen kallioperään.

Kotimaahan palattuaan astui Valto Veltheim Geologisen tutkimuslaitoksen malmiosaston palvelukseen toimien ensin geologina ja vuodesta 1962 lähtien valtioneurologina. Viimeiset vuodet ennen 1978 tapahtunutta eläkkeelle siirtymistään hän oli teollisuusmineraalien tutkimusryhmän johtajana. Hänen huomattavimmat tutkimuskohteensa tällä työsaralla olivat Raahen seudun malmialheet sekä vuoriteollisuudessamme uusia uria aukonut Kemin kromimalmiesiintymä. Tämän malmigeologisen toimintansa ohella laati Valto Veltheim lisäksi mittavat tutkimukset eräiden Perämeren sekä Pohjanlahden ranta-alueiden kallioperästä.

1960-luvulla kuului Valto Veltheim niihin suomalaisiin geologeihin, jotka olivat avaamassa työskentelymahdollisuuksia YK:n teknisen avun asiantuntijatehtäviin. Hän toimi ensin puolisen vuotta Chilessä, sitten moniaita lyhyempiä jaksoja Ceylonilla, Togossa, Gambiassa ja Ghanassa sekä lopuksi runsaan vuoden Liberiassa. Näiden matkojen aiheeltaan vaihtelevien tutkimusten pääkohteita olivat rauta- ja kultamalmit sekä raskaita mineraaleja sisältävät hiekat.

Sotilasarvoltaan Valto Veltheim oli luutnantti. Hän osallistui aktiivisesti alansa järjestöjen toimintaan ja oli vuodesta 1953 Vuorimiesyhdistyksen jäsen. Jo Viipurin ajoista lähtien oli hänen suurena harrastuksenaan meri ja veneily. Laajoihin, yli rajojen ulottuviin työ- ja ystäväpiireihinsä jätti Valto Veltheim pysyvän, valoisan muiston.



PER OLOV GRÖNQVIST

5. 3. 1924 — 16. 2. 1982

Per Olov (Putte) Grönqvist är inte längre bland oss. Efter en kort tids svår sjukdom rycktes han plötsligt bort och efterlämnar hos sin familj och sina många vänner och arbetskamrater ett stort och oersättligt tomrum.

Putte Grönqvists arv till oss är resultatet av hans rika och fullödiga liv. Han tog studentexamen vid Svenska Samskolan i hemstaden Tammerfors och studerade sedan vid Åbo Akademi, varifrån han utdimitterades som diplomingenjör år 1952. Redan året tidigare hade han anställts hos Outokumpu Oy, som han sedan tjänade i över 30 år.

Efter först några år som forskningsingenjör i Björneborg verkade han vid Harjavalta-fabrikerna, där han ledde igångkörningen av bolagets nickelfabrik, till vars chef han utnämndes år 1959. Som expert på hydro-metallurgi och med erfarenheten från nickelfabriken blev han 1966 utsedd att leda också byggandet av koboltfabriken i Gamlakarleby. Tjänsten som chef för koboltfabriken innehade han till 1976, då han utnämndes till direktör för Outokumpu-bolagets miljövårdsverksamhet. På denna post verkade han aktivt till sin död.

Den centrala ställning Putte Grönqvist haft i utvecklandet av Finlands processmetallurgi renderar honom en framskjuten plats bland dess märkespersoner. Genom sin kunnighet och sitt vinnande sätt skapade han kontakter och vann beundran även utanför landets gränser, och den insats han gjort för sitt bolag och hela landet kan inte överskattas.

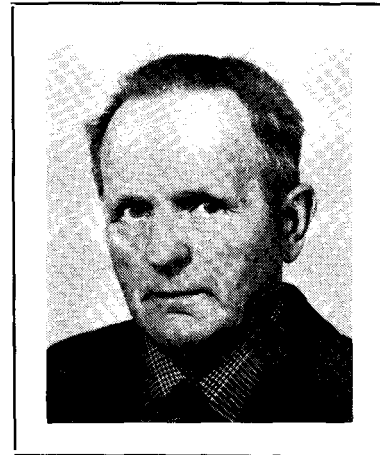
Putte Grönqvist var också en aktiv fritidsmänniska med jakt och skärgårdsliv som huvudintressen. Då han dessutom var medlem i ett flertal föreningar, blev han uppskattad och omtyckt i vida kretsar också utanför hem och arbetsmiljö.

Vi känner alla djup sorg och saknad, men kvar har vi minnet av en glad och god kamrat — Putte.

Bergsmannaföreningens medlem var han från 1953.

Laaan ystäväpiirin ja työtovereiden muistoissa Reino Himmi säilyy valoisana ihmisenä ja taitavana kaivosgeologina.

Vuorimiesyhdistyksen jäsen Reino Himmi oli vuodesta 1943 alkaen.



REINO HIMMI

27. 9. 1908 — 14. 3. 1982

Odottamatta tuli tieto filmaist. Reino Himmin poismenosta. Hän kuoli 14. 3. 1982 äkilliseen sairauskohtaukseen kotonaan Vaasassa.

Reino Himmi oli syntynyt 27. 9. 1908 Uudellakirkolla, kävi koulunsa Viipurissa tullen ylioppilaaksi v. 1930 ja suoritti filosofian kandidaattitutkinnon Helsingin yliopistossa v. 1944.

Geologia kiinnosti Reino Himmiä jo opiskelun alkuvaiheissa, mutta pääaineenaan hänellä oli aikomus opiskella kemiaa. Hän oli kesäapulaisena v. 1935 Outokumpu Oy:n malminetsinnöissä Kiihtelysvaaralla, v. 1936 Suomen Malmi Oy:llä Laatokan pohjoispuolella ja vuosina 1937—39 Petsamon Nikkeli Oy:n kenttätöissä. Varsinkin Petsamon aika muutti Reino Himmin opiskelun tavoitetta. Niinpä hän vuonna 1938 keräsi Petsamon Nikkeli Oy:n alueen pohjoispuolelta Lutshlompolon vyöhykkeeltä aineiston geologista erikoistyötään varten. Petsamossa hän sai myös ensimmäisen kosketuksen kaivosgeologin työhön, joka hänelle myöhemmin muodostui niin vaiherikkaaksi elämänuraksi.

Talvisodan jälkeen kesällä 1940 Reino Himmi tuli Outokumpu Oy:n kultamalmitutkimuksiin Haapajärvelle, mutta jatkosodan alkaessa hän joutui uudelleen asepalvelukseen. Kesästä 1942 vuoteen 1945 saakka hän toimi geologina ja kaivosmittaajana Makolan kaivoksella Nivalassa. Lyhyen Outokummussa työskentelyn jälkeen hän v. 1946 siirtyi Ylöjärven kaivokselle geologin ja kaivosmittaajan tehtäviin ja toimi sittemmin geologisen osaston päällikkönä aina vuoteen 1965, jolloin siirtyi vastaavaan tehtävään Korsnäsin kaivokselle. Vuoden 1972 syksystä eläkkeelle jäämiseen saakka syksyllä 1973 Reino Himmi hoiti kaivoksenjohtajan tehtäviä.

Luettelo niistä kaivoksista ja malmiesiintymistä, joiden parissa Reino Himmi uransa aikana työskenteli, on kunnioitettavan pitkä. Hänen tarmokkuutensa riitti myös monipuolisen malminetsintätoiminnan hoitamiseen kaivosten ympäristöalueilla.

Reino Himmillä oli geologille tärkeä ominaisuus: tarkkojen havaintojen teko ja niiden muistiin merkitseminen. Se ilmeni kaivoskarttojen ja kairasydänraporttien yksityiskohdissa samoin kuin hänen Ylöjärven kaivoksen geologiaa käsittelevissä kirjoituksissaan.

UUSIA JÄSENIÄ — NYA MEDLEMMAR

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

Kokouksessa 20. 1. 1982.

Ala-Kohtamäki, Kaija Katariina, DI, s. 25. 11. 1955. Helsingin teknillinen korkeakoulu, vuoriteollisuusosasto, teor. prosessimetallurgian lab., vs. assistentti. Os.: Kata-rinankatu 5 C 27, 28100 Pori 10. Jaosto 3.

Dahlberg, Kjell, DI, f. 12. 9. 1952. Oy Partek Ab, Pargas, projektengenjör vid processutveckling. Adr.: Brunns-höjden 1 A 4, 21600 Pargas. Sektion 4.

Eeronheimo, Jorma Johannes, FK, s. 4. 4. 1952. Outo-kumpu Oy, Malminetsintä, insinööriharjoittelijana Kota-lahden kaivoksella. Os.: Vanamokatu 11 A 8, 96500 Rova-niemi 50. Jaosto 1.

Eskola, Pertti Vihtori, DI, s. 4. 9. 1954. Rautaruukki Oy, Raahen Rautatehdas, tutkimusinsinööri. Os.: Ollinkehä 6 A 9, 92120 Raahe 2. Jaosto 3.

Havranek, Peter Harry (P.H.), Övering., f. 8. 9. 1933. Höganäs Ab, Höganäs, Sverige, biträdande divisionschef, ansvarig för eldfast forskning och utveckling. Adr.: Ny-hammngatan 4, S 263 00 Höganäs, Sverige. Sektion 3.

Helin, Seppo, DI, s. 28. 4. 1955. Outokumpu Oy, Tornion tehtaas, tutkimusinsinööri. Os.: Uusikatu 4 A 10, 95400 Tornio. Jaosto 3.

Hytti, Pekka Ilari, DI s. 30. 6. 1955. Helsingin teknilli-nen korkeakoulu, vuoriteollisuusosasto, louhintatekniikan laboratorio, tutkija. Os.: Käenkuja 4 C 66, 00500 Helsin-ki 50. Jaosto 2.

Jutila, Heikki Armas, DI s. 13. 6. 1956. Helsingin tek-nillinen korkeakoulu, vuoriteollisuusosasto, Suomen Aka-temia, tutkimusapulainen. Os.: Viisaritie 26, 01640 Vantaa 64. Jaosto 2.

Kari, Liisa Sofi Kristiina, DI, s. 27. 11. 1955. Helsingin teknillinen korkeakoulu, koneinsinööriosasto, materiaa-litekniikan laboratorio, hitsauslisäaineen tuotekehitys-projektin projekti-insinööri. Os.: Riihipellontie 4 A 41, 00390 Helsinki 39. Jaosto 3.

Klemetti, Kari Juhani, DI, s. 13. 6. 1954. Valtion tek-nillinen tutkimuskeskus, metallilaboratorio, reaktorima-teriaalijaoston tutkija. Os.: Holmanniitynkujia 13, 02240 Espoo 24. Jaosto 3.

Karhu, Lauri Johannes, DI, s. 22. 7. 1954. Outokumpu Oy, Kotalahden kaivos, rikastamon tutkimusinsinööri. Os.: Myllytupa, 71470 Oravikoski. Jaosto 4.

Kauppinen, Hannu Pekka, DI, s. 2. 10. 1953. Matti Ki-vinen Oy, Raisio, työpäällikkönä Kemiön maasälpäkaivoksella ja Siikaisten dolomiittikaivoksella. Os.: Viskari-polku 9 B 13, 20210 Turku 21. Jaosto 2.

Kojo, Ilkka Veikko, DI, s. 8. 9. 1956. Helsingin tekni-linen korkeakoulu, vuoriteollisuusosasto, prosessimetallur-gian laboratorio, vs. assistentti. Os.: Avaruuskatu 3 D 64, 02210 Espoo 21. Jaosto 3.

Kärnä, Erik Juhani, DI, s. 13. 8. 1935. Ky Luterma Kb, Helsinki, toimitus- ja tekn.johtaja. Os.: Orisaarentie 6 D, 00840 Helsinki 84. Jaosto 3.

Lahti, Seppo, FT, s. 26. 2. 1947. Geologinen tutkimuslai-tos, Espoo, kallioperäosaston kallioperägeologi. Os.: Kuu-tamokatu 6 C 54, 02210 Espoo 21. Jaosto 1.

Lindroos, Leo Elias, Ins., s. 28. 6. 1943. Outokumpu Oy, Porin tehtaas, tutkimusinsinööri. Os.: Valtakatu 30 A 38, 28100 Pori 10. Jaosto 3.

Niemelä, Jaana Liisa, DI, s. 16. 4. 1957. Helsingin tek-nillinen korkeakoulu, vuoriteollisuusosasto, teoreettisen prosessimetallurgian lab. vs. assistentti. Os.: Kivimäentie 10 A, 01620 Vantaa 62. Jaosto 3.

Nikander, Tom Börje, DI, s. 12. 9. 1956. Outokumpu Oy:n Säätiön stipendiaattina U.S.A:ssa. Os.: Battelle Co-lumbus Laboratories, 505 King Avenue, Columbus, Ohio 43201, U.S.A. Jaosto 3.

Paasikoski, Matti, DI, s. 27. 8. 1954. Helsingin tekni-linen korkeakoulu, vuoriteollisuusosasto, metallurgian la-boratorio, tutkija. Os.: Laivanvarustajankatu 4 F 63, 00140 Helsinki 14. Jaosto 3.

Pietilä, Risto Mikael, FK, s. 28. 4. 1954. Lapin Malmi, Lapin alueen geofysikaalisten tulosten tulkintageofyysiko. Os.: Mäkirananta 8 B 18, 96400 Rovaniemi 40. Jaosto 1.

Piironen, Erkki Juho, Ins., s. 14. 1. 1933. Outokumpu Oy, Malminetsintä, geofysiikan laboratorioinsinööri. Os.: An-jankuja 3 A 29, 02230 Espoo 23. Jaosto 1.

Puustjärvi, Heikki, FK, s. 20. 1. 1956. Outokumpu Oy, Malminetsintä, Itä-Suomen aluetuomisto, geologi. Os.: Pohjoisahonkatu 21 as. 3, 83500 Outokumpu. Jaosto 1.

Rönkkö, Paavo Tapani, DI, s. 13. 8. 1955. Helsingin tek-nillinen korkeakoulu, vuoriteollisuusosasto, prosessime-tallurgian lab., Suomen Akatemian vs. tutkimusassis-tentti. Os.: Avaruuskatu 3 I 169, 02210 Espoo 21. Jaosto 3.

Salmi, Jorma Juhani, Ekon. s. 5. 10. 1937. Outokumpu Oy, Terästeollisuusryhmä, hankintapäällikkö. Os.: Lem-mikinkatu 1 D, 95430 Tornio 3. Jaosto 3.

Seppänen, Hannu Arvo Kalevi, FK, s. 18. 4. 1949. Geo-loginen tutkimuslaitos, malmiosasto, uraaninetsintäryh-män geofyysikko. Os.: Kotkankatu 4 A 16, 00510 Helsin-ki 51. Jaosto 1.

Soikkeli, Timo, DI, s. 10. 4. 1956. Outokumpu Oy, Vihan-nin kaivos, insinööriharjoittelija. Os.: Outokumpu Oy, Vihannin kaivos, 86440 Lampinsaari. Jaosto 2.

Soininen, Saara Mirjami, FK, s. 30. 10. 1950. Outokum-pu Oy, Teknillinen vienti, kemisti, sovellutuslab. röntgen-sovellutukset. Os.: Auringonkatu 8 D 41, 02210 Espoo 21. Jaostot 1 ja 3.

Suhonen, Riitta Kaarina, DI, s. 16. 3. 1956. Helsingin teknillinen korkeakoulu, vuoriteollisuusosasto, prosessi-metallurgian lab., tutkija. Os.: Kuusitie 3 B 33, 00270 Hel-sinki 27. Jaosto 3.

Syväjärvi, Timo Hannu, DI, s. 15. 4. 1950. Outokumpu Oy, Metallurginen tutkimuslaitos, Pori, tutkimusins., py-rometallurgiset prosessit laboratoriossa ja koetehtaalla. Os.: Kuussaarikonrivi 1 F, 29100 Luvia. Jaosto 3.

Teperi, Seppo Tapio, Ins., s. 15. 2. 1946. Outokumpu Oy, Tornion tehtaas, tuotannonsuunnittelainsinööri. Os.: Uu-sikatu 4 B 25, 95400 Tornio. Jaosto 3.

Uusitalo, Reijo Uolevi, DI, s. 6. 6. 1955. Outokumpu Oy Pyhäsalmen kaivos, insinööriharjoittelija. Os.: Koivikkotie 7 D, 86900 Pyhäkumpu. Jaosto 1.

Vaaranrinta-Puhakka, Ritva Tuula Helena, DI, s. 4. 6. 1953. Helsingin teknillinen korkeakoulu, vuoriteollisuus-osasto, louhintatekniikan laboratorio, Outokumpu Oy:n tutkija., Os.: Talonpojantie 5 A 9, 00710 Helsinki 71. Jaosto 2.

Vänskä, Ari Heikki, Ins., 26. 10. 1950. Outokumpu Oy, Kotalahden kaivos, tutkimusinsinööri tutkimus- ja kehi-tystyötehtävissä. Os.: Myllärintie 61 D 35, 70780 Kuopio 78. Jaosto 2.

Ylätalo, Kalle Kullervo, Ins., s. 26. 10. 1946. Oy Forcit Ab, teknillisen palvelun insinööri. Os.: Hullintie 6, 10900 Hanko. Jaosto 2.

Ylönen, Yrjö Heikki Sakari, DI, s. 4. 4. 1954. Helsingin teknillinen korkeakoulu, vuoriteollisuusosasto, prosessi-metallurgian laboratorio, tutkija. Os.: Kirstinsyrjä 7 B 38, 02760 Espoo 76. Jaosto 3.

Kokouksessa 3. 3. 1982

Böök, Tommy Gustaf, FL, s. 26. 6. 1945. Oy Partek Ab, Parainen, tuotekehityksen projekti-insinööri. Os.: Tenn-byntie 40 as. 26, 21600 Parainen. Jaosto 4.

Hakakari, Hannu Sakari, DI, s. 17. 10. 1954. A. Ahl-ström Oy, Karhulan tehtaas, metallivalimo, sulatusosast-on käyttöinsinööri. Os.: Karhunkatu 16 B 7, 48600 Kar-hula. Jaosto 3.

Kaunisto, Tuija, DI, s. 3. 1. 1955. Valtion teknillinen tutkimuskeskus, metallurgian laboratorio, tutkijana korroosiojaostossa. Os.: Lindalintie 2 A 6, 02400 Kirkko-nummi. Jaosto 3.

Kirjavainen, Vesa Markku, DI, s. 12. 2. 1955. Helsingin teknillinen korkeakoulu, vuoriteollisuusosasto, mineraali-tekniikan laboratorio, tutkija. Os.: Mäkitorpantie 8 C 27, 00620 Helsinki 62. Jaosto 4.

Majava, Jorma Tapio, DI, s. 25. 3. 1951. Outokumpu Oy, Tornion tehtaas, kylmävalssaamon leikkauslinjojen käyttöinsinööri. Os.: Ahotie 11 A 2, 95420 Tornio 2. Jaosto 3.

Miettunen, Jorma, FK, s. 24. 12. 1947. Outokumpu Oy, Pyhäsalmen kaivos, rikastamon prosessitietokoneryhmän esimies. Os.: Koivikkotie 8 B, 86900 Pyhäkumpu. Jaosto 4.

Nousiainen, Raija Annikki, DI, s. 2. 10. 1955. Rautaruuk-ki Oy, Raahen Rautatehdas, tutkimusins.harjoittelija. Os.: Ouluntie 12 B 12, 92100 Raahe. Jaosto 3.

Sarviliina, Heikki Juhani, DI, s. 8. 9. 1950. Outokumpu Oy, Harjavallan tehtaas, energiainsinööri. Os.: Saimaan-tie 10 A 4, 29200 Harjavalta. Jaosto 3.

Siivola, Jaakko, FT, s. 8. 9. 1938. Helsingin yliopisto, geologian laitos, apul.professori. Os.: Linnustajantie 9, 02940 Espoo 94. Jaosto 1.

Wahlroos, Hannu, DI, s. 13. 7. 1955. Outokumpu Oy,

Porin tehtaat, insinööriharjoittelija. Os.: Väinörraitti 3 G 57, 28330 Pori 33. Jaosto 3.

Vihma, Karri, DI, s. 25. 12. 1954. Rautaruukki Oy, Raahen Rautatehdas, tutkimusinsinööri. Os.: Koulukuja 6 D 45, 92120 Raaha 2. Jaosto 3.

Österlund, Kaj Håkan, DI, f. 3. 2. 1954. Tekniska högskolan, bergindustriavdelningen, laboratoriet för metallåra, forskare. Adr.: Leilasgränden 2 C 52, 02230 Esbo 23. Sektion 3.

Kokouksessa 25. 3. 1982

Pessi, Yrjö, maat. ja metsät. tri, s. 30. 8. 1926. Kemira Oy, pääjohtaja. Os.: Mahlarinne 10, 02130 Espoo 13. Jaosto 4.

UUTTA JÄSENIÄ —

NYTT OM MEDLEMMARNA

DI **Harri Aakala** toimii Ovako Oy Ab:n Imatran tehtaalla erikoisteräsosaston käyttöinsinöörinä. Os.: Terästehdas 107 as. 2, 55610 Imatra 61.

DI **Markku Ahlberg** siirtyy 1. 10. 1982—31. 3. 1983 väliseksi ajaksi Pääesikunnasta Kauppa- ja teollisuusministeriön palvelukseen Lontoossa olevaan Suomen suurlähetystöön teollisuussuhteiden apulaiseksi. Os.: Embassy of Finland, Scientific Office, 46/47 Pall Mall, London SW1Y5JG.

DI **Pekka Aarinen** on nimitetty 1. 4. 1982 alkaen Kaapelitehdas Reka Oy:ssä teknisen osaston osastopäälliköksi. Os.: Sandelininkatu 3 A 8, 05800 Hyvinkää.

DI **Tuomo Airaksinen**. Os.: Siilinpääntie 10 A 12, 71800 Siilinjärvi.

FM **Kari Airas** on nimitetty 1. 1. 1982 alkaen Rautaruukki Oy:n ja Outokumpu Oy:n yhteistoimintaorganisaation — Lapin Malmin — päälliköksi. Os.: Inapolku 3 A 14, 96200 Rovaniemi 20.

DI **Jaakko Anttilainen**. Os.: Matinkulma 5 C 19, 02230 Espoo 23.

DI **Markku Arvilommi** on siirtynyt Hellenic Ferroalloys SA Ahngran ferrokromitehtaan rakennuspaikalle. Os.: Deligiorti 9, Volos Greece.

TkT **Jussi Asteljoki** toimii Outokumpu Oy:n Teknillisen viennin Insinööritoimiston prosessiteknillisen ryhmän esimiehenä.

Bergsing. **Nils-Åke Astermo**. Adr.: Hemstrand, Skräbölle, 21600 Pargas.

DI **Erkki Auranen** toimii Finnasia Trading Ltd Oy:n toimitusjohtajana.

TkL **Heikki Aurasmaa** toimii Ahlström-ryhmään kuuluvan Altim Control'in myynti- ja projektitoimintojen päällikkönä.

DI **Hannu Autio**. Os.: Lahntie 10 C, 90550 Oulu 55.

Ins. **Alvar Berg**. Adr.: Malmgatan 5 A 6, 10300 Karis.

TkL **Karl-Johan Björkas**. Ovako Oy Ab, Helsingfors, direktör för trådgruppen. Adr.: Docentvägen 9, 02700 Grankulla.

DI **Lars-Göran Björkqvist**. Adr.: Filipsgatan 2 C 16, 02230 Esbo 23.

Prof., yliasiamies **Carl E. Carlson**'in on Valtioneuvosto nimittänyt Valtion tiedoneuvostoon tieteelliseen tutkimukseen ja kehitystyöhön perehtyneeksi jäseneksi kolmen vuoden ajaksi.

DI **Martin Degerth**. Adr.: Ceremonimästarvägen 27, S-181 40, Lidingö, Sverige.

DI **Harri Eronen** toimii Oy Partek Ab:n Lappeenranta-tehtailla mineraalisektorin käyttöinsinöörinä.

DI **Per Fröberg**. Adr.: Palomäentie 27, 33230 Tammerfors 23.

Prof. **Gabor Gaál** on kutsuttu vierailevaksi tutkijaprofessoriksi Salvador-Bahian yliopistoon 1. 1.—31. 12. 1982 väliseksi ajaksi. Os.: Instituto de Geociencias, Rua Caetano Moura, 123. Federacao, Salvador-Bahia, 40.000 Brazil.

TkL **Teuvo Grönfors**. Os.: Taivalkatu 8, 15170 Lahti 17.

DI **Jukka Gustafsson**. Os.: Karapellontie 2, 02610 Espoo 61.

FT **Ilmari Haapala** on nimitetty 1. 1. 1982 lähtien Helsingin yliopiston geologian ja mineralogian varsinaisen professorin virkaan.

DI **Matti Hakanen** toimii Kehityssuunnittelu Ky:n toimitusjohtajana.

DI **Arto Hakola** on nimitetty 1. 4. 1982 alkaen Outo-

kumpu Oy:n Terästeollisuusryhmään kuuluvan Kemin kaivoksen johtajaksi.

FM **Pertti Hautala**. Os.: Vilpunkatu 2 E 27, 02230 Espoo 23.

DI **Lauri Heikkilä** on nimitetty Tampereella sijaitsevan Nekalan Konepaja Oy:n toimitusjohtajaksi.

DI **Pertti Heikkilä** on nimitetty 1. 2. 1982 Oy Tampella Ab Tamrockin tutkimuspäälliköksi.

DI **Antti Heikkinen** on palannut komennukselta Norilskista ja toimii Outokumpu Oy:n Teknillisessä viennissä projekti-insinöörinä. Os.: Steniuksentie 28 B 19, 00320 Helsinki 32.

DI **Seppo Heino**. Os.: Justeerintie 8 A 7, 03100 Nummela.

DI **Pekka Heiskanen**. Os.: Tanhumäentie 9, 04400 Järvenpää.

DI **Voitto Heiskanen**. Os.: Mantelikuja 6, 90480 Oulunsalo.

FM **Olli Helovuori**. Os.: Opiskelijankatu 12 C 53, 33720 Tampere 72.

DI **Ossi Hietanen**. Os.: Myrtilpolku 14 B 2, 00720 Helsinki 72.

FM **Aimo Hiltunen** on nimitetty 1. 1. 1982 alkaen Rautaruukki Oy:n Malminetsinnän apulaisjohtajaksi. Os.: Ampuhaukantie 4 A 4, 90250 Oulu 25.

DI **Matti Huitu**. Os.: Härkölänatie 3, 03100 Nummela.

DI **Eero Hukkanen**. Os.: Rantarinne 1, 90230 Oulu 23.

DI **Pekka Hytti** toimii Oy Tampella Ab Tamrock Trackdrills'issä tuotepäällikkönä. Os.: Yrjönkatu 1 C 29, 33100 Tampere 10.

DI **Paavo Hörkkö** erosi 1. 5. 1982 Tamrock Drills'in palveluksesta siirtyen maanviljelijäksi ja lammasfarmariksi.

FT **Heikki Ignatius** on nimitetty 1. 1. 1982 alkaen Geologisen tutkimuslaitoksen maaperäosaston valtioneologin virkaan.

DI **Folke Jansson** har den 1. 2. 1982 utnämnts till produktionschef på Oy Nokia Ab Metall-produkter aluminiumavdelningen med ansvarsområde produktionsavdelningen i Pickala.

DI **Pauli Jouhten**. Os.: Saimaantie 14 A 3, 29200 Harjavalta.

DI **Kalervo Jussila** toimii Outokumpu Oy:n Metalliteollisuusryhmässä Porissa aluevientipäällikkönä. Os.: Soinintie 15, 28370 Pori 37.

DI **Heikki Jutila** on 16. 7. 1982 asti Shell International Petroleum Maatschappij B. V. Den Haag palveluksessa trainee petroleum engineer-tehtävässä. Os.: Krallugse plas piaan 67 A, Van Ruisdaelsestate, 3061 BA Rotterdam, Nederland.

DI **Jouni Järkkälä** on nimitetty Rautaruukki Oy:n Oulun keskuskonttorissa putkipalkkien myyntipäälliköksi. Os.: Nuolihaukantie 6 A 20, 90250 Oulu 25.

DI **Esko Järvinen**. Os.: Osuuskuuntantie 52 A, 00660 Helsinki 66.

DI **Jorma Kaartama**. Os.: Puimatie 23, 06150 Porvoo 15.

DI **Markku Kajän** on nimitetty Oy Grönblom Ab:ssa osastopäälliköksi vastuualueenaan kaivos-, louhinta-, valimo- ja terästeollisuuden koneet, laitteet ja tarvikkeet.

FK **Pekka Kallio**. Os.: Sammakkolammentie 3 A 43, 70200 Kuopio 20.

DI **Aarre Kangas** on nimitetty Oy Nokia Ab:n Engineering-ryhmään kuuluvan sähköstiosaston johtajaksi

TkL **Juhani Kangas** on nimitetty Outokumpu Oy:n Terästeollisuusryhmän (Tornion tehtaat ja Kemin kaivos) johtajaksi.

DI **Karl-Gustav Karls**. Os.: 66800 Oravainen.

DI **Ilkka Karvonen**. Os.: Hallituskatu 24 A 10, 13100 Hämeenlinna 10.

DI **Risto Kettunen** toimii Suomen Metalliteollisuuden Keskusliitossa johtajana 18. 8. 1980 alkaen.

DI **Arto Kivimäki** on palannut komennukselta Norilskista ja toimii Outokumpu Oy:n Teknillisessä viennissä projekti-insinöörinä. Os.: Siltatie 8 B 9, 02210 Espoo 21.

DI **Heikki Kivinen** on nimitetty 1. 1. 1982 alkaen Outokumpu Oy:n Outokumpu Consulting Engineers-yksikön pyrometallurgian konsultiksi.

FT **Tapio Koistinen**. Os.: Kaasilankatu 21, 83500 Outokumpu.

DI **Pertti Koivunen** toimii Oy Tampella Ab Tamrock Drills'issä tuotepäällikkönä.

DI **Juhani Kolehmäinen**. Os.: Jännekuja 4, 15870 Salpakangas.

DI **Matti Kolehmäinen**. Os.: Hillervontie 10 B 32, 28370 Pori 37.

FT **Tapio Koljonen** toimii Geologisessa tutkimuslaitok-

sessä geokemian osastossa valtiongeokemistinä. Os.: Puolipäivänkatu 1 A 7, 00160 Helsinki 16.

TkL **Matti Kongas** toimii Outokumpu Oy:n Teknillisessä viennissä automaatiojärjestelmien tuotelinjapäällikkönä.

FM **Matti Koponen**. Os.: Mäkipellontie 9 B, 00320 Helsinki 32.

TkT **Antti Korhonen**. Os.: Kyläkirkontie 46, Venla B 23, 00370 Helsinki 37.

DI **Antti Koski-Lammi**. Os.: Vuoksentie 2 A, 29200 Harjavalta.

DI **Kyösti Koskinen**. Os.: Osuuskunnantie 70, 00660 Helsinki 66.

DI **Veli Kujanpää**. Os.: Melojantie 1 A 10, 90560 Oulu 56.

DI **Hans Kullberg**. Adr.: Björknäsgatan 29—31 F, 10600 Ekenäs.

FL **Yrjö Kähkönen**. Os.: Kuohurinne 6 B 13, 01600 Vantaa 60.

DI **Tero Laako**. Os.: Valopoiju 6 B 38, 02320 Espoo 32.

Ins. **Leila Laine**. Os.: Vuoksentie 2 B, 29200 Harjavalta.

DI **Ensio Lakanen**. Os.: Liitokuja 2 B 5, 03100 Numme-la.

DI **Arimo Lankila**. Os.: Pattijoentie, 92140 Pattijoki.

DI **Tapio Laukkanen**. Os.: Tontunmäentie 14, 02200 Espoo 20.

FM **Matti Laurila**. Os.: Palokunnantie 6, 13100 Hämeenlinna.

DI **Heikki Lehmusvaara** on nimitetty The Finnish Consultancy and Technology Information Center Oy:n yritys-konsultiksi toimialanaan mm. laitossuunnittelu ja teollisuuden kunnossapitotoiminta.

Ins. **Raimo Lehto** toimii Rautaruukki Oy:n Oulun keskuskonttorissa teräksisten kartioputkien tuotepäällikkönä. Os.: Ampuhaukantie 4 A 1, 90250 Oulu 25.

Ins. **Eero Lempainen** toimii Outokumpu Oy:n Porin tehtailta projekti-insinöörinä. Os.: Isolinnankatu 7 B 42, 28100 Pori 10.

DI **Jaakko Levänaho** toimii automaatioinsinöörinä Cyprus Anvil Mining Corporationissa. Os.: Cyprus Anvil Mining Corporation, P.O. Box 1000, Faro, Yukon Territory YOB 1 KO, Canada.

TkL **Raimo Makkonen**. Os.: B 252, 25900 Taalintehdas.

DI **Veikko Manninen**. Os.: Karjakuja 73 B 54, 20540 Turku 54.

TkT **Heikki Martikka** toimii tietokoneavusteisen koneensuunnittelun ja lujuuslaskennan konsulttina The Finnish Consultancy and Technology Information Center Oy:ssä Imatralla.

DI **Aaro Matikkala**. Os.: Sepänkatu 4—6 B 7, 80110 Joensuu 11.

DI **Juhani Mattila** on nimitetty 1. 4. 1982 alkaen Outokumpu Oy:n Teknillisen viennin toimintojen aluekoordinaattoriksi toimialueenaan Latinalainen Amerikka.

FM **Tatu Mattila**. Os.: Ahmalantie 4 B 11, 90160 Oulu 16.

Ins. **Lennart Mellin**. Os.: 58 A Parallel Street, Sliema, Malta.

TkL **Jorma Myyri** on palannut komennukselta Norilskista ja toimii prosessi-insinöörinä Outokumpu Oy:n Teknillisessä viennissä. Os.: Museokatu 11 B 40, 00100 Helsinki 10.

DI **Jorma Männistö** toimii Outokumpu Oy:n Tornion tehtailta terässulaton prosessikehitysinsinöörinä. Os.: Niittypolku 3, 95410 Kiviranta.

Ins. **Kauko Määttä** toimii perustamansa Ninel Markkinoinnin toimitusjohtajana. Yrityksen toimialana on luova tekninen markkinointi. Os.: Tapionkatu 8 B 15, 55100 Imatra 10.

DI **Antti Narko**. s. 20. 8. 1949.

TkL **Harri Nevalainen** toimii The Finnish Consultancy and Technology Information Center Oy:n toimitusjohtajana. Os.: Tuoppikuja 6 L, 55100 Imatra 10.

DI **Kalervo Nieminen**. Os.: Turjankuja 8, 04230 Kerava 3.

FT **Heikki Niini** on nimitetty Teknillisen korkeakoulun vuoriteollisuusosaston taloudellisen geologian professorin virkaan 1. 1. 1982 lähtien.

DI **Timo Niitti**. Os.: Kuitinmäenkaari 10 D, 02210 Espoo 21.

DI **Erik Nordenswan**. Os.: Malmnäsintie 7 B, 21600 Parainen.

DI **Martti Nurmisalo** on nimitetty 1. 4. 1982 alkaen Oy Tampella Ab Tamrock Drills-yksikön myyntijohtajaksi.

Ins. **Markku Nuojua**. Os.: Vanhatie, 92400 Ruukki.
DI **Antti Närhi**. Os.: Håkansdal 114, S-417 44 Göteborg, Sverige.

DI **Esko Orivuori**. Os.: Pohjoisahonkatu 19 as. 1, 83500 Outokumpu.

DI **Kauko Pakarinen** toimii Valmet Oy:n Tampereen tehtailta laadunohjausinsinöörinä. Os.: Kreetantie 7 G 36, 33950 Pirkkala 50.

FT **Heikki Papunen** on nimitetty 1. 3. 1982 alkaen Turun yliopiston geologian ja mineralogian professorin virkaan.

FL **Jyrki Parkkinen**. Os.: Notkokatu 1 B, 83500 Outokumpu.

LuK **Marjatta Parkkinen**. Os.: Notkokatu 1 B, 83500 Outokumpu.

FM **Esko Partio**. Os.: Putousrinne 1 D 27, 01600 Vantaa 60.

FK **Eero Pehkonen**. Os.: Seilimäki 18 A 14, 02180 Espoo 18.

FT **Esko Peltola**. Os.: Valopoiju 6 A 30, 02320 Espoo 32.

DI **Rauno Peltonen**. Os.: Vihneentie 5 I, 28130 Pori 13.

DI **Hannu Penttilä**. Os.: Illansuu 4 B 7, 02210 Espoo 21.

DI **Raimo Pesonen**. Os.: Puolikuu 3 E 47, 02210 Espoo 21.

DI **Antero Pihlainen** toimii Oy Tampella Ab Tamrock Drills-yksikössä myyntipäällikkönä.

DI **Seija Poitsalo**. Os.: Aukustinkuja 4 A, 00840 Helsinki 84.

DI **Pekka Purra** on 1. 4. 1982 alkaen nimitetty Rautaruukki Oy:n Helsingin konttorissa teräskonttien myyntipäälliköksi.

FK **Hannu Pyy** on siirtynyt Valtion teknillisen tutkimuskeskuksen betoni- ja silikaattitekniikan laboratorioon tutkijaksi 15. 12. 1981. Os.: VTT, Betoni- ja silikaattitekniikan laboratorio, Betonimiehenkuja 1, 02150 Espoo 15.

Vuorineuvos **Uolevi Raade**. Os.: Kuusisaarenkuja 8, 00340 Helsinki 34.

DI **Pentti Raike** on siirtynyt 1. 3. 1982 Kone Oy:n Engineering Divisionin palvelukseen toimien general managerina Minjingu Phosphate Mine:ssä Os.: Minjingu Phosphate Mine, P.O.Box 912, Arusha, Tanzania.

Ins. **Kalevi Raipala**. Os.: Sköldargård, Koivumäki, 10620 Högbäcka.

Ins. **Tuomo Rajaniemi**. Os.: Järventölantie 34 D, 92140 Pattijoki.

TkL **Heikki Rantanen**. Os.: Kanakouluntie 8 B, 13100 Hämeenlinna 10.

DI **Hannu Rapeli** on matkustanut vuoden komennukselle Brasiliaan toimien Outokumpu Oy:n tytäryhtiön Outokumpu Equipamentos Industriais e Participacoes Ltda:n sulattoalueen prosessi-insinöörinä. Os.: Av. Brig Farina Lima, 1885/11 andar, CEP 01451, Sao Paulo, S.P. Brazil.

DI **Heikki Rautajoki** on nimitetty 1. 4. 1982 alkaen Outokumpu Mexicana S.A. de C.V:n toimitusjohtajaksi. Os.: Taine 229 piso 6, Mexico 5, D.F. Mexico.

FK **Jouni Reino**. Os.: Tornitie 4 A, 86900 Pyhäkumpu.

DI **Risto Rinne** on siirtynyt Ekono Oy:n palvelukseen rikastustoimialan konsultiksi.

TkL **Rauno Rintama**. Os.: Tornihaukantie 6 F 108, 02620 Espoo 62.

FK **Aimo Ruotsalainen**. Os.: Ilveksentie 3 H, 70400 Kuopio 40.

DI **Kyösti Saarhelo**. Os.: Yökuja 4 E, 02210 Espoo 21.

Ins. **Heimo Saarinen**. Os.: Huovintie 2, 29200 Harjavalta.

DI **Pekka Sariola** toimii Oy Tampella Ab:n Tamrock Drills-yksikön After Sales-osaston päällikkönä.

DI **Antti Seeste** on palannut komennukselta Norilskista ja toimii Outokumpu Oy:n Teknillisessä viennissä projekti-insinöörinä. Os.: Säterintie 13 F 72, 00720 Helsinki 72.

DI **Lauri Siirama** toimii Kemira Oy:n Siilinjärven kaivoksella rikastamon osastoinsinöörinä. Os.: Honkaranta 1 I, 71800 Siilinjärvi.

TkL **Olavi Siltari**, Outokumpu Oy:n hallituksen jäsen. Os.: Juhannusmäki 9 as. 7, 02200 Espoo 20.

DI **Hannu Silvennoinen**. Os.: Auringonkatu 8 F 54, 02210 Espoo 21.

DI **Erkki Simonen** toimii Kemira Oy:n Vihtavuoren tehtailta louhintatarvikeyksikön päällikkönä. Os.: Katajakuja 2, 41340 Laukaa.

FL **Veikko Sjöberg**. Os.: Soidinpolku 7, 92130 Raaha 3.

DI **Timo Soikkeli**. Os.: Tehtaankatu 6 as. 10, 83500 Outokumpu.

DI **Eero Soininen**. Os.: Kupariperä 6, 83500 Outokumpu.

DI **Jukka Sulanto**. Os.: Kaupintie 4 C 45, 00440 Helsinki 44.

FT **Jouko Talvitie** on nimitetty 1.1.1982 alkaen Geologisen tutkimuslaitoksen malmiosaston osastonjohtajan virkaan. Os.: Otakuja 2 B 21, 02150 Espoo 15.

Yli-ins. **Pentti Tarnanen** toimii Teknillisen tarkastuslaitoksen paineastiaosaston rakennetoimiston toimistopäällikkönä 1.6.1981 alkaen.

TkT **Pekka Taskinen**. Os.: Lehtisaarentie 8—10 A, 00340 Helsinki 34.

DI **Allan Tawast** toimii Valtion rautateiden Hyvinkään konepajalla vetokaluston kehitysryhmän päällikkönä. Os.: Tienhaarankatu 4 B 10, 05820 Hyvinkää 2.

Ins. **Leo Tenhonen**. Os.: Puutarhakatu 3 as. 10, 20100 Turku 10.

DI **Timo Tervonen**. Os.: Voionmaankatu 71—75 A 6, 33300 Tampere 30.

TkT **Tuomo Tiainen**. Os.: Pirkonkaivonkatu 17 D 14, 33700 Tampere 70.

DI **Jarmo Tonteri**. Os.: Haukiverkko 12 B 17, 02170 Espoo 17.

DI **Risto Torpo**. Os.: P.O.Box 73023, NDola, Zambia.

DI **Tapani Tulokas**. Os.: Kivitie 11, 86440 Lampinsaari.

DI **Juho Tuomikoski**. s. 25.7.1925. Os.: Mustanlahdenkatu 3 A 118, 33210 Tampere 21.

FT **Raimo Uusinoka**. Os.: Lehtikatu 2 as. 2, 33340 Tampere 34.

DI **Kalle Vaajoensuu**. Os.: Päiväntaite 10—12 A 2, 02210 Espoo 21.

Ins. **Lasse Vanhala** toimii Outokumpu Oy:n Kaivosteknillisessä ryhmässä projekti-insinöörinä. Os.: Kuilukatu 7 A 14, 83500 Outokumpu.

DI **Lasse Vihavainen**. Os.: Pellervonkatu 4 A 5, 55100 Imatra 10.

DI **Henri Virtanen** toimii Outokumpu Oy:n Porin tehtailta kuparielektrolyysin osastoinsinöörinä. Os.: Liikastentie 99, 28610 Pori 61.

DI **Pertti Virtanen**. Os.: Kansalaiskoulunkatu 3 C 3, 83500 Outokumpu.

FM **Kaj Västi**. Os.: Kaikukuja 39, 70600 Kuopio 60.

DI **Jukka Väyrynen**. Os.: Kujatie 20 B, 6, 92130 Raahe 3.

DI **Andrzej Zablocki** on siirtynyt 20.3.1982 kolmeksi vuodeksi Atlas Copco Chilena S.A.C:n markkinointipäälliköksi. Os.: Atlas Copco Chilena S.A.C, Casillo 10239, Correo Central, Santiago, Chile.

Ing. **Bengt Ådahl**. Adr. i Finland: Grundvägen 11 B, 00300 Helsingfors 33.

DI **Henrik Öhqvist** on siirtynyt Ruotsiin Stal Laval Turbin AB:n toimitusjohtajaksi. Os.: Stal Laval Turbin Ab, S- 612 20, Finspång, Sverige.

SUORITETTUA TUTKINTOJA —

AVLAGDA EXAMINA

HELSINGIN YLIOPISTO

Geologian laitos

Geologian ja mineralogian osasto

Joulukuun 19. päivänä 1981 tarkastettiin julkisesti FK **Tapio J. Koistisen** väitöskirja "Structural evolution of an early Proterozoic strata-bound Cu-Co-Zn deposit, Outokumpu, Finland". Vastaväittäjänä toimi apul.prof. Gabor Gaál ja kustoksena vt. prof. Jaakko Siivola. Väitöskirja on julkaistu sarjassa Transactions of the Royal Society of Edinburgh. Earth Sciences, 72, 115—158, 1981.

Maaliskuun 6. päivänä 1982 tarkastettiin julkisesti FL **Liisa Carlsonin** väitöskirja "Oxide minerals of iron in oxidate accumulations in Finland". Vastaväittäjänä oli FT Juhani Paakkola ja kustoksena prof. Ilmari Haapala. Väitöskirja on luonteeltaan tutkimussarja ja perustuu lähinnä seuraavaan neljään julkaisuun:

1. Liisa Carlson, Tapio Koljonen and Antti Vuorinen (1978) The precipitation of iron and manganese in Fennoscandia: geology and geochemistry. Environmental Biochemistry and Geomicrobiology (W. E. Krumbein, editor), pp. 503—513. Ann Arbor Science Publishers.
2. L. Carlson and U. Schwertmann (1980) Natural occur-

rence of ferroxihite (δ' -FeOOH). Clays Clay Miner. 28: 272—280.

3. L. Carlson and U. Schwertmann (1981) Natural ferrihydrites in surface deposits from Finland and their association with silica. Geochim. Cosmochim. Acta 45: 421—429.
4. Liisa Carlson, Antti Vuorinen, Pertti Lahermo and Olli H. Tuovinen (1980) Mineralogical, geochemical and microbiological aspects of iron deposition from groundwater. Biogeochemistry of Ancient and Modern Environments (P. A. Trudinger, M. R. Walther and B. J. Ralph, editors), pp. 355—364. Australian Academy of Science and Springer Verlag.

Filosofian kandidaatit:

Arhe, Markku: "Iitin Perheniemen kalkkikivi-karsi esiintymästä ja sen ympäristön geologiasta".

Tutkittu alue (n. 9 km²) koostuu rapakivestä ja sen sisältämistä svekofennisistä sulkeumista (läpimitta alle 1 km). Laadituissa lineaari-, rakoilu- ja liuskeisuusgrammeissa yksi maksimisuunta on n. E-W. Myös porfyryiset ja tasarakeiset rapakivimuunnokset esiintyvät tämän suuntaisissa jaksoissa. Toinen päärakennesuunta (n. 330°) on selvä lineaarirakenteissa, mutta sen voimakkuus vaihtelee alueen eri osissa.

Kontaktimetamorfoituneita svekofennisiä kiviä ovat hyvin vaalea, paikoitellen sillimaniittikyhmyjä sisältävä andalusittipitoinen graniitti ja siinä olevat tummat sulkeumat. Osa sulkeumista (hornfelsit) on metamorfoitunut vähintään pyrokseenihornfelsifaseiksen olosuhteissa. Toisaalta hypersteenipitoisten hornfelsien yhteydessä esiintyy prehniittia (pysyvyysalue alle 400°C). Nämä seikat samoin kuin granuliittifaseiksen olosuhteisiin viittaavan ruskean sarvivälkkeen esiintyminen kalkkikiven sivukivissä osoittavat kiteytymisolosuhteiden vaihdelleen voimakkaasti alueella.

Perheniemen kalkkikivi- ja karsiesiintymä (n. 30 m²) liittyy n. 330°-suuntaiseen ruhjevöhykkeeseen. Esiintymä on mineraalikoostumukseltaan vyöhykkeellinen ruhjeen suunnassa. Karbonaatti on kalsiittia, aksessorinen dolomiitti esiintyy siinä pisara- ja matomaisina sulkeumina tai symplektiittinä. Dolomiittia on myös serpentiiniä ja brusiittia ympäröivänä saumana. Karsi on kalsiummagnesiumkarsi. Diopsidia ja wellstoniittia on useiden kuutiometrien kokoisina kasaamina. Klinopyrokseenin (diopsidi) ja granaatin (grossulaari) rautapitoisuudet ovat pieniä. Prehniitistä esitetään kemiallinen analyysi ja fyysikaaliset ominaisuudet. Malmimineraalit ovat akessorisia; kiisupitoista kalkkikiveä tavataan csuamaisesti. Analysoiduista karsinäytteistä korkeimmat tinapitoisuudet esiintyvät vesuviaaniitti- ja granaattipitoisissa näytteissä (47—200 ppm).

Kesola, Reino: "Kittilän Linkujoen vihreäkivien petrologiasta".

Vihreäkiviä ja niihin liittyviä kivilajeja Kittilän Linkujoen alueella tutkittiin detaljiloueista työtä varten kerättyjen näytesarjojen avulla. Vihreäkivet ovat rapautumispinnaltaan toistensa kaltaisia, mutta ohutheiden ja kemiallisten analyysien perusteella massamaiset vihreäkivet eroavat toisistaan niin mineraalien kuin kemiallisen koostumuksenkin suhteen. Toisaalta vihreäkivien ja gabrojen välillä ei ole huomattavia kemiallisia eikä mineralogisia eroja. Muutamien gabrojen FeO_{tot}-pitoisuus on kuitenkin huomattavasti korkeampi kuin vihreäkivien. Gabroiksi luokitellut kivet ovat karkearakeisempia kuin vihreäkivet.

Voimakkaasti ruhjoutuneet vihreäkivet sisältävät runsaasti kloriittia ja karbonaattia. Näissä kivissä analysimattoman volatiilin osuus on suurempi kuin amfibolia, albiittia ja biotiittia sisältävissä vihreäkivissä ja gabroissa. Tyynylaavan konsentriset kehät näkyvät ohutheissa aivan tyynyjen reunaosissa. Kemiallisesti analysoidut näytteet (14 kpl) kerättiin varsin suppealta erikoistutkimusalueelta. MgO-pitoisuus on liki sama vihreäkivissä, gabrossa ja biotiitti-albiittikivissä.

Lindqvist, Kristian: "Pyroklor från Sokli karbonatit-komplex".

Fyra förvittrade och två förvittrade pyroklorprov från Sokli karbonatitkomplex har undersökts. Ett pyroklorprov är uranpyroklor, medan species för de övriga är pyroklor. Kristallformen är en oktaeder eller en kombination av oktaeder och kub. Zonal struktur och

tvillingbildning uppträder. Inneslutningar är vanliga. Vid återkristallisation av de metamikta proven kristalliserar vid sidan av en pyroklorfas en lueshit- och/eller en fersmittfas. Gitterkonstanten för pyroklor varierar mellan 10,375 Å — 10,426 Å. Ta-halten i proven är anmärkningsvärt hög. Ce/La-värdet (3,1—9,6) och Nb₂O₅/Ta₂O₅-värdet (4,9 — 177,9) för de undersökta pyroklorproven tyder på att pyroklor kristalliserat ur relativt odifferentierad magma. Vid förvittring av pyroklor frigörs uran som binds vid sekundära (supergena) mineral eller amorfa ämnen, framför allt ferrihydroximineral.

Lähteenmäki, Kai: "ERTS-kuvatulkintaa ja geologiaa Pirttikylän alueelta".

Pirttikylän alueen (Närpiö, Maalahti, Jurva) kinziigitiset migmatiitit ovat metamorfoituneet korkean asteen metamorfoosissa, jolloin lämpötila on ollut 700°—730°C ja paine 15—20 kilometrin syvyyttä vastaava. Enderbiittiset granoliitit tulkitaan kinziigitien alustana olleiksi polymetamorfisiksi metasedimenteiksi.

Alueen geologinen rakenne selitetään syntyneeksi siten, että kinziigitien alla olleet pohjalohkot ovat puristuneet toisiaan vasten. Pohjalohkoissa tapahtunut vasenkätinen strike-slip -siirros on syynä alueen pohjoisosan poimurakenteisiin. Kvartsin hilasuuntautumisen suuren hajonnan syynä ovat yhtäaikaan vaikuttaneet erityyppiset hilaa suuntaavat mekanismit.

Marmo, Jukka: "Hokkalammen kyaniittiesiintymä Kontiolahdella. Ympäristön geologia sekä esiintymän alumiinin alkuperä".

Alueen metasedimentit jakaantuvat varhais- (Jatuli) ja keskiproterotsooiseen (Kaleva) seurueeseen. Varhaisproterotsoisten autoktonisten sedimenttien litostratigrafiset yksiköt vanhimmasta nuorimpaan ovat: (1) satroliitti-serisiittiliuske-serisiittikvartsiittimuodostuma, (2) ortokvartsiittimuodostuma I, (3) metakonglomeraatti-arkoosikvartsiittimuodostuma ja (4) ortokvartsiittimuodostuma II. Muodostumia erottavat toisistaan eroosiokontaktit ja sedimentaatiotyypin muutos. Keskiproterotsoosiin metasedimentteihin luetaan alueella alloktoniset, alkuperältään geosynklinaaliset metapeliitit.

Metakonglomeraattien välimassaa luonnehtii korkea alumiinipitoisuus sekä alaiset natriumin, kaliumin, kalsiumin ja magnesiumin määrät. Välimassan tyypillisiä mineraaliseurueita ovat (1) kloritoidi-kloriitti-kaoliiniitti-serisiitti-muskoviitti-kvartsi, (2) andalusiitti-kyaniitti-kaoliiniitti-serisiitti-muskoviitti-kvartsi ja (3) biotiitti-kloriitti-serisiitti-muskoviitti-kvartsi. Kyaniitti muodostaa Hokkalammen ympäristössä ekonomisesti mielenkiintoisia esiintymiä. Metakonglomeraatin runsaimmin kloritoidia, kyaniittia, andalusiittia ja kaoliiniittia sisältävien osueiden alumiini on peräisin pääasiassa prejatulisen rapautumiskuoren kaoliinisavista, jotka huuhtoutuivat metakonglomeraattiin eroosion paljastettua paikoin ortokvartsiittimuodostuman I alla sijainneen rapautumiskuoren.

Aluetta on muckannut kolme deformaatiövaihetta, joista ensimmäiseen ja viimeiseen liittyi poimutusta. Toista deformaatiövaihetta luonnehti kivien kataklastinen hieryminen ja kallioperän rikkoutuminen lohkoiksi. Alue-metamorfoosi tapahtui pääosin 400°—500°C lämpötilassa ja 2,8—4,0 kb paineessa. Kolmanteen deformaatiövaiheeseen liittyi paineen kohoaminen ja kyaniitin synty andalusiitin kustannuksella. Alueen lounaisosassa esiintyvä parageneesi biotiitti-kordieriitti-sillimaniitti-kalimaasälpä-kvartsi osoittaa myös lämpötilan kohonneen paikallisesti.

OULUN YLIOPISTO

Geologian laitos

Filosofian kandidaatin tutkinto:

Peltoniemi, Hannu: "Moreenin litologia ja geokemia sekä moreeniaineksen kulkeutumismatka Kuhmon luoteisosassa".

Tutkielmassa tarkastellaan moreenin litologisen koostumuksen ja hivenmetallipitoisuuksien vaihteluita Kuhmon liuskejaksoson poikki kulkevilla 5 montutusprofiililla.

Tutkimusalueelta tavattiin kolme moreeniyksikköä, joista ylin, I-moreeni on pääosin ablaatiomoreeni. II- ja III-moreenit ovat pohjamoreeneja. Kaikki moreeniyksiköt ovat kerrostuneet liki samansuuntaisten (290—300°)

jäättikkövirtausten aikana, eivätkä ne näin ollen eroa litologiselta koostumukseltaan kovinkaan paljon toisistaan. Yleensä kuitenkin alemman moreeniyksikön kiviaines on jonkin verran paikallisempaa kuin ylemmän ja vastavasti tietyn moreenin alaosan aines on paikallisempaa kuin ylempien osien.

Hivenmetallipitoisuudet olivat I- ja II-moreeneissa likimain yhtä suuret, mutta III-moreenissa pitoisuudet olivat näihin verrattuna keskimäärin 2,5-kertaiset. Moreenin hivenmetallipitoisuudet olivat liuskejaksoson alueella keskimäärin 2,2-kertaiset sen länsipuoliseen alueeseen verrattuna.

Moreeniaineksen kulkeutumismatkatutkimuksissa todettiin hienojen fraktioiden kulkeutuvan karkeita pittemmälle. Johtokivialueen leveydellä on vaikutusta kulkeutumismatkaan siten, että mitä suurempi leveys on, sitä pitempi on puoliintumismatka. Kuhmon n. 5 kilometrin levyisen liuskejaksoson kivien osuus moreenissa puoliintuu keskimäärin 2 kilometrin matkalla liuskejaksoson distaalipuolella. Topografialla on vaikutusta siihen, miten jäätikkö kuluttaa, kuljettaa ja kerrosta alustansa materiaalia. Tästä johtuen moreenissa ei eri kivilajeja välttämättä esiinny samassa suhteessa kuin kallioperässä.

Prosessitekniiikan osasto

Tekniikan lisensiaatit:

Korhonen Juha: "Läpivirtausmenetelmän käyttö ksantaatti-ionin adsorptionopeutta määritettäessä".

Ksantaattien tärkeimmät adsorptiotuotteet sulfidimineraalien pinnalle ovat kemisorboitunut metalliksantaatti ja diksantaatti. Ksantaattien adsorptio riippuu suuresti määrin liuenneen hapen määrästä ja adsorptiomäärän maksimi on pH-arvolla noin 4,5—5.

Adsorptiokokeet on suoritettu kiintoainepatjalla, jonka läpi ksantaattiliuos virtaa. Tälle koetilanteelle on esitetty kaksi erilaista matemaattista mallia. Niiden erona on se, oletetaanko pintapeitteen kasvavan suoraan verrannollisesti vapaan pinnan osuuden ensimmäiseen vai toiseen potenssiin. Matemaattiset mallit ovat ositendifferentiaaliyhtälöitä, jotka ratkaistaan ortogonaalisella kaksoiskolokaatiomenetelmällä tietokonetta apuna käyttäen. Tulokseksi saadaan käyriä $c = c(t, X, M)$. Jos kokeelliset ja lasketut käyrät yhtyvät, ovat parametrit X ja M oikeat.

Natriumamyylksantaatin adsorboituessa kuparikiisun pinnalle adsorptionopeusvakioksi on saatu 0,008—0,019 1/mgs ja adsorptionopeusvakion havaittiin kasvavan pH:n kasvaessa ainakin pH-välillä 8,5—11,5. Samalla kyllästysadsorption määrä pienenee. Kokoojan alkukonsentraation kasvaessa kasvaa myös kyllästysadsorption määrä.

Launonen, Martti Johannes: "Virtauksen ohjaus pumppun ominaisuuksien avulla".

Leinonen, Risto Juhani: "Tutkimuksia kromiittirikasteen briketoinnista".

Rovio, Teppo: "Aktivoituneen sinkkivälkkeen erottaminen kuparimineraalista vaahdottamalla".

Tutkittiin aktivoituneen sinkkivälkkeen ja kuparimineraalien erotuksessa käytetyn kloorikalkkimenetelmän kemiallisia perusteita. Saavutettujen tulosten perusteella voidaan esittää seuraavanlaista mekanismia ko. erotuksessa:

Kloorikalkki poistaa hapettaen ksantaattikerroksen mineraalipinnoilta, kuitenkin nopeammin kuparikiisun kuin sinkkivälkkeen pinnalta. Ca⁺⁺-ionit adsorboituvat mineraalipinnoille. Sopivaa kloorikalkkimäärää käytettäessä aktivoitunut sinkkivälkkeen pinta on vielä hydrofobinen kun taas kuparikiisun pinta on jo hydrofiilinen. Tällöin sinkkivälke vaahdottuu kuparikiisun painuessa. Kloorikalkkimenetelmän vaatima pitkä valmennusaika johtuu ksantaatin desorpoitumisen hitaudesta. Kloorikalkkimäärä vaikuttaa Ca⁺⁺-ionien määrään liuoksessa ja myös ksantaatin hapettumiseen.

Takala, Hemmo: "Pasutuskaasun jäähtytys ja rikkihapposumun muodostuminen elohopean poistamiseksi kaasufaasista".

Tässä työssä on tarkasteltu vesisuihkun pisarakoon vaikutusta kaasun jäähtymisnopeuteen sekä rikkihappo-

sumun muodostumista elohopean poistamiseksi pasutuskaasusta.

Pasutuskaasu jäähdytettiin suuttimella muodostetulla vesisuihkulla lämpötilaan 185—195°C. Tällöin kaasun sisältämä H_2SO_4 (g) tiivistyi sumuna, jolloin kaasussa oleva elohopea reagoi tiivistyneen rikkihapposumun kanssa kiteytyen elohopeasulfaattina.

Pienoismallilla suoritettujen koeajojen mukaan elohopean diffuusio kaasusta rikkihappopisaraan vaatii erittäin pitkän viipymääjän. Todettiin, että tällainen elohopeanpoistomenetelmä vaatii patjan tehostamaan aineensiirtotapahtumia. Tällöin sulfatoitumistapahtuman vaatima viipymäaika on riittävän lyhyt, jotta elohopeanpoistosysteemin koko ei tule liian suureksi.

TAMPEREEN TEKNILLINEN KORKEAKOULU

Konetekniikan osasto, materiaaliopin laitos

Diplomi-insinöörit:

- Gröhn, Harri:** "Kuparin pinnoittaminen Al_2O_3 :lla".
Jalonen, Tom: "Faasirajan mikroanalysoinnin tarkentaminen".
Mäkelä, Kari: "Amorfisen teräsnauhan valmistus".
Pöllänen, Juha: "Voiteluaineiden keskinäisten ominaisuuksien vertailu".
Wahlroos, Hannu: "Superseoksen pinnoittaminen".
Vuoristo, Petri: "Valkaisulaitteen materiaalit".

TEKNILLINEN KORKEAKOULU, OTANIEMI

Vuoriteollisuusosasto

Teknillisen korkeakoulun vuoriteollisuusosastolla, Otaniemessä, tarkastettiin 18.12.1981 tekn.lis. **Anja Taskisen** väitöskirja "Oxygen-metal (Ag, Au, Bi, Cu, In, Ni, Sb, Sn, Te) interactions in dilute molten lead alloys". Vastaväittäjänä toimi Priv.-Doz. Dr. D. Janke MPI Eisenforschung'ista Düsseldorfista ja kustoksena prof. L. E. Holappa.

Väitöskirjassa on määritetty epäpuhtauksien (Ag, Au, Bi, Cu, In, Ni, Sb, Sn, Te) ja hapen välisiä 1. kertaluokan vuorovaikutuskertoimia, ϵ_{O} , sulassa liijyissä lämpötiloissa 762—1000°C. Lisäksi on esitetty erilaisia tapoja arvioida ϵ_{O} kertoimia laskennallisesti ilman mittaus-tuloksia. Työssä on tehty havainto, että ϵ_{O} :n lämpötilariippuvuus liijyissä, kuparissa ja hopeassa voidaan arvioida yhdessä lämpötilassa mitatun arvon perusteella, sillä vuorovaikutuskertoimen entalpia/entropia-suhde näissä metallisulissa on vakio.

27.11.1981 tarkastettiin vuoriteollisuusosastolla tekn.lis. **Jouko Vuorisen** väitöskirja "On the strain hardening of austempered spheroidal graphite cast iron". Vastaväittäjänä toimi prof. Hasse Fredriksson, Kungliga Tekniska Högskolan, Tukholma ja kustoksena prof. Martti Sulonen.

Väitöskirjassa tarkastellaan aluksi isotermisesti bainitoidun pallografiittiraudan ominaisuuksia. Raudalle on löytynyt monia käyttösovellutuksia etenkin koneenrakennuksessa. Sen matriisin mikrorakenteen muodostaa olennaisesti metastabiili austeniitti ja ferriittistä, joka vuorostaan koostuu austeniittista ja ferriittistä. Rakenteessa ei ole lainkaan sementiittää. Runsaasta austeniittista johtuen raudan ominaisuudet poikkeavat monessa suhteessa muiden pallografiittirautojen ja terästen ominaisuuksista.

Muokkauksen aiheuttamia muutoksia bainitoidussa rakenteessa tutkittiin läpivalaisuelektronimikroskoopilla. Läpivalaisunäytteet valmistettiin ionihennusmenetelmällä. Muokkauksen aiheuttamien rakennemuutosten tutkimuksissa keskityttiin lähinnä yksisuuntaisen muokkauksen vaikutuksiin. Muokkaus synnyttää austeniittiin liukunauhoja, jotka elektronidiffraktiolla todettiin muokkaukskaksosiksi. Näitä kaksosia syntyy samassa kiteessä useammassa, toisiaan leikkaavissa liukusysteemeissä. Kaksosten leikkauksiin syntyy α' -martensiittiä. Tämä todettiin myös elektronidiffraktiolla. Muokkauksen synnyttämä martensiitti on erittäin hienoa, neulasmaista. Muokkauksen lisäksi synnyttää enemmän kaksosia ja lisää siten kaksosten leikkauksia, joka lisää neulasmarten-

siitin määrää. Muokkausmartensiitin ja austeniitin todettiin olevan toisiinsa nähden Kurdjumov-Sachs-orientaatio-suhteessa.

Vierintäväsytyksen aiheuttamia rakennemuutoksia selvitetiin tutkimalla käytössä olleen kaivosvaunun pyörän vierintäpintakerrosta. Siinä tapahtuneen kovuusnousun todettiin aiheutuneen lähinnä dislokaatio- eikä martensiittilujittumisesta.

Bainitoidun pallografiittiraudan muokkauslujuutuksen eksponentin määrittämisessä käytettiin lähinnä tasopuristuskoetta. Muokkauslujuuttuminen, jonka mitta eksponentti on, osoittautui huomattavasti vähäisemmäksi kuin tietyissä työstökarkenevissa austeniittisissa teräksissä. Tämä johtunee siitä että rakenteessa oleva ferriitti muodostaa kaksosten leikkauksia vähentäviä esteitä.

Rakennetutkimukset suoritettiin Valtion teknillisen tutkimuskeskuksen metallurgian laboratoriossa ja muokkaus-tutkimukset Teknillisen korkeakoulun vuoriteollisuusosaston metallien muokkauksen ja lämpökäsittelyn laboratoriossa.

Tekniikan lisensiaatit:

Hannula, Simo-Pekka V.: "Matalassa lämpötilassa suoritettavan lievän (< 5 %) muokkauksen vaikutusta tyypiseostukseltaan erilaisten 18/10-tyyppisten austeniittisten ruostumattomien terästen rakenteisiin ja ominaisuuksiin".

Työssä on tutkittu matalassa lämpötilassa (123—263K) suoritettavan lievän (< 5 %) muokkauksen vaikutusta tyypiseostukseltaan erilaisten 18/10-tyyppisten austeniittisten ruostumattomien terästen rakenteeseen ja ominaisuuksiin. Tarkastelun kohteena on lähinnä ollut muokkausrakenteiden vaikutus lujuusominaisuuksiin, muokkauslujuuttumiseen, selektiiviseen liukenemiseen ja vedyn aiheuttamaan haurastumiseen huoneenlämpötilassa. Rakennehavainnot tehtiin läpivalaisu- ja pyyhkäisy-elektronimikroskoopilla, röntgendiffraktiolla ja permeabiliteettimittauksella. Ominaisuuksia tutkittiin mm. vetokeilla, syövytyskokeilla, polarisaatiomittauksella ja katodisella vetyvarauksella sekä vetytitoisuusmittauksilla.

Muokkausrakenteiden havaittiin muuttuvan esimuokkauslämpötilaa laskettaessa sitä enemmän mitä nopeammin teräksen pinousvian pintaenergia ja stabiilisuus pieneni. Rakennemuutoksiin liittyvän myötölujuuden lisäyksen (huoneenlämpötilassa suoritettavaan muokkaukseen verrattuna) todettiin riippuvan lähinnä pinousvikojen ja ϵ -martensiitin määrästä ja vikatiheyden ja lujuuden kasvun välille saatiin lineaarinen riippuvuus. Myös muokkauslujuuttuminen pienillä venymillä voimistui vikatiheyden kasvaessa. Suurilla venymillä α' -martensiitin merkitys muokkauslujuuttumisessa kasvoi ja murtolujuuden kasvu voitiin yhdistää α' -martensiittimäärän kasvuun.

Muokkauksessa syntynyt ϵ - ja α' -martensiitti liukeniivat 5 N H_2SO_4 -0.1 N NaCl-liuoksessa α' -martensiitin liukenemisen ollessa nopeampaa. Dislokaatiiorakenteet vaikuttivat liukenemispintojen morfologiaan vain silloin, kun liukeneminen oli yleistä ja voimakasta. Vedyn aiheuttaman haurastumisen todettiin pienenevän austeniitin stabiilisuuden (tyypiseostuksen) kasvaessa. Lievästi muokatussa austeniitissa vedyn aiheuttaman murtumisen havaittiin etenevän lähinnä ϵ -martensiitissa, ϵ/γ -rajapinnalla tai liukutasolla.

Lakanen, Ensio: "Vuorovaikutuksellinen ja automaattinen tulkinta".

Vuorovaikutuksellinen tulkinta yhdistää tietokoneen nopeuden ja ihmisen päättelykyvyn. Käytettävissä olevat tärkeimmät osaelementit ovat graafinen tietojenkäsittely ja optimointi. Uusi, geofysikaalisille mittaustuloksille tarkoituksenmukaisempi optimointimenetelmä, ns. hyperparabeliminimointi, on kehitetty. Automaattisen tulkinnan vertailukohdaksi valittiin yleistetty inversio. Sitä käyttäen tulkintaongelma voitiin analysoida laske-malla ominaisarvot ja -vektorit, korrelaatiokertoimet, informaatioitiheysjakaumat jne.

Eräs sopivan tuntuinen magneettinen maanpintaprofiili on pyritty tulkitsemaan perusteellisesti käyttäen 2- ja 3-dimensioonalisia malleja. Korrelaatiokertoimet antoivat hyödyllistä lisätietoa ongelmasta ja niitä voitiin käyttää tulkinnan ohjaamiseen sekä lopputuloksen arviointiin. Saatu kokemus kiteytettiin menettelyohjeiksi, joita voi soveltaa muihinkin monimutkaisiin (voimakkaasti epä-lineaarisiiin) tulkintatehtäviin.

Ristolainen, Eero: "Tutkimus stabiloidun sellirakenteen ja vakanssiheyden vaikutuksesta tilakeskisen kuutiollisen raudan väsymisominaisuuksiin".

Diplomi-insinöörit:

Backlund, Ulla: "Utveckling av segt brott i ett aluminium-tätat och ett höghållfast låglegerat djupdragnings-tätat".

I arbetet granskades inneslutningarnas beteende vid olika formningsprocesser såsom dragprov, in-plane-prov (balanserad biaxiell töjning samt plantöjning) och bulgeprov. Inneslutningarnas medverkan vid utvecklingen av det sega brottet studerades också. Såväl raka töjningsvägar som töjning i två faser användes. Formningsproven utfördes med standardprov och strukturundersökning med ett svenpelektronmikroskop.

Det sega brottet befanns uppstå genom håligheters tillväxt och sammanslagning.

Eskeinen, Jukka: "Fosforiseostuksen vaikutus teräs-ohutlevyn ominaisuuksiin".

Työssä tutkittiin fosforiseostuksen vaikutusta syvävetoteräksen lujuuteen, muovattavuuteen ja tekstuuriin. Lisäksi pyrittiin löytämään optimaaliset kuumavalssausloppulämpötilat ja kelauslämpötilat parhaan lujuus-muovattavuus-yhdistelmän saavuttamiseksi. Teräs-ohutlevyn lujuutta voidaan nostaa n. 125 MPa seostamalla 0.1%P, jolloin muovattavuus ei huonone yhtä paljon kuin jos lujuuden nousu olisi saavutettu raekoon hienontamisella. Fosforiseostuksella saattaa olla edullinen vaikutus voimakkaan [111] (112)-tekstuurin muodostumiseen. Fosforin ja muiden seosaineiden epätasainen jakautuminen levyn poikkipinnalla on ongelmana, kun kelaus tapahtuu korkeissa lämpötiloissa yli 650 C.

Finér, Sirpa: "Eräiden vahapohjaisten mallimateriaalien mekaaniset ja termiset ominaisuudet".

Työssä tutkittiin mallimateriaalien mekaanisia ja termisiä ominaisuuksia isotermissellä puristuskokeella. Mallimateriaalina oli pääasiassa harmaa Filia. Kokeita suoritettiin myös Tanskasta, Ruotsista ja Suomesta saaduilla valetuilla ja valamattomilla plastiliineilla. Jännitys-venymäkäyristä ratkaistiin muokkauslujittumis- ja venymänopeuseksponenttien sekä muokkauslujittumisfunktion arvo eri lämpötiloissa. Tuloksien avulla johdettiin matemaattisia yhtälöitä, joissa muodonmuutoslujuus määritetään venymän, venymänopeuden ja lämpötilan avulla. Työssä tutkittiin puristuskokeella myös väri-, seos- ja voiteluaineiden, sulatuslämpötilan, sulatuskertojen sekä puristuskappaleen korkeuden vaikutuksia plastiliinin mekaanisiin ominaisuuksiin.

Honkanen, Vesa: "Pursotulosuhteiden vaikutus AlZn5Mg1-profiilin mikrorakenteeseen".

Työssä on tutkittu pursotuslämpötilan, -nopeuden ja -suhteen vaikutusta AlZn5Mg1-seoksesta pursotetun profiilin mikrorakenteeseen. Työssä tutkittiin myös mikrorakenteen ja materiaalin jännityskorroosioherkkyyden välistä yhteyttä.

Koetulosten perusteella on laskettu mallit, jotka selittävät rekrystalisoituneen kerroksen paksuuden ja pursotuspaineen prosessimuuttujien funktiona. Mallien avulla seokselle on laadittu pursotusrajadiagrammi, jota voidaan käyttää pursotulosuhteiden määräämiseen.

Jylhä, Kosti: "Epäpuhtausaineiden As, Bi ja Pb jakaantuminen kuparin ja kalsiumferriittikuonan välillä".

Työn tarkoituksena oli selvittää tasapainotuskokeiden avulla arseenin, lyijyn ja vismutin jakaantumista metallisen kuparin ja kalsiumferriittikuonan välillä hapettavissa olosuhteissa.

Kirjallisuudessa käsiteltiin lyijyn käyttäytymistä kuparin pyrometallurgisessa valmistuksessa sekä eri menetelmiä lyijyn poistamiseksi kuparisulasta.

Kokeissa kalsiumferriittikuonan koostumus oli 25 p-% kalsiumoksidia ja loput rautaoksidia, jossa Fe³⁺/Fe²⁺-suhde oli 3,6. Arseenin, lyijyn ja vismutin alkupitoisuudet kuparissa olivat 0,5 p-%, ja kuparin tasapainohapenpaine oli välillä 4·10⁻⁸...2·10⁻⁵ atm.

Saaduista koetuloksista määrättiin arseenin, lyijyn ja vismutin jakaantumiskertoimien sekä kuparin kuonautumisen riippuvuus kuparin tasapainohapenpaineesta. Sekä tutkittujen epäpuhtausaineiden että kuparin kuonautuminen kasvoi kuparin tasapainohapenpaineen kohotessa.

Arseenin todettiin kuonautuvan huomattavasti paremmin kuin lyijyn ja vismutin, joiden kuonautuminen oli vähäistä. Saatujen tulosten perusteella kalsiumferriittikuona näyttäisi soveltuvan arseenin raffinoimiseen raa-kakuparista.

Kukkonen, Raija: "Painovoima-anomalioiden ATK-tulkinta — ohjelmisto kolmedimensionaalisten geologisten rakenteiden tulkitsemiseksi".

Työn tarkoituksena on ollut parantaa painovoima-anomalioiden tulkintamahdollisuuksia tekemällä kolmedimensionaalisten geologisten rakenteiden tulkintaa varten ohjelmisto, jonka avulla voidaan helposti tulkita pyöreäkköjä muodostumia, kuten erilaisia syväkivi-intrusiiveja. Lisäksi työssä on tarkasteltu painovoima-anomalioiden tulkintavaikkeitä ja -mahdollisuuksia sekä tavallisimpien mallielementtien käyttöä erilaisten geologisten tilanteiden tulkinnaissa. Tulkintaohjelmiston mallielementtinä on ohuista horisontaalitason suuntaisista monikulmio- ja kileikkauksista syvyysakselin suhteen integroimalla saatu kolmedimensionaalinen kappale. Regionaalianomalia on toteutettu spline-interpolointia hyväksi käyttäen. Tuloksin nopeuttamiseksi ja tulkintatilanteen analysoimisen helpottamiseksi on ohjelmaan tehty yleistettyyn inversioon perustuva optimointialgoritmi. Tulkintaohjelmiston toimivuutta on kokeiltu tulkitsemalla Lapinlahden ja Kangasniemen Salmenkylän gabro-muodostumat.

Lieto, Jyrki: "Ohuiden austeniittisten hitsausliitosten ultraäänitarkastus".

Työn tarkoituksena oli tutkia ultraäänitarkastuksen käyttökelpoisuutta ohuiden (2—12 mm) austeniittisten hitsien tarkastuksessa ja sen soveltamista käytännön tarkastukseen.

Kirjallisuustutkimuksessa on selvitetty tarvittavien luotaimien valintaperusteita. Samoin on tutkittu hitsin muodosta aiheutuvia ongelmia. Erityyppisten kalibrointiurien ja reikien käyttömahdollisuuksia selvitettiin.

Tutkimuksessa käytettiin päittäisliitoksen hitsattuja, ruostumattomia levyjä tutkimusaineistona. Hitseihin oli jo valmistusvaiheessa tehty hitsausvirheitä.

Parhaaksi kalibrointimenetelmäksi todettiin halkaisijaltaan 1,5 mm sivuttaisreikä. Vaimeneminen ei ollut näin ohuissa hitseissä vaikeutena. Tästä syystä voidaan käyttää korkeataajuisia luotaimia. Vertailtaessa ultraäänellä saatuja tarkastustuloksia röntgenkuviin voitiin todeta, että ultraäänitarkastusta voidaan käyttää myös alle 10 mm hitsejä tarkastettaessa. Käytännön ohjeena voidaan mainita, että arvostelun helpottamiseksi kannattaa hitsikupu hioa ennen tarkastusta.

Nuutinen, Juha: "Lyhyiden sarjojen levynmuovaustyökalut".

Työssä on tutkittu vismutti- ja sinkkiseosten sekä metalli- ja mineraalijauhetäytteisten epoksimuovien soveltuvuutta lyhyiden sarjojen levynmuovaustyökalujen rakenneaineiksi. Työkalut valmistetaan näistä materiaaleista lopullisiin mittoihinsa valamalla mallin avulla, jolloin säästetään aikaa ja kustannuksia. Materiaalien lujuusominaisuudet asettavat kuitenkin rajoituksia mm. minimipyörityksille ja vetosuhteelle.

Mekaaniset ominaisuudet määritettiin kovuus-, puristus- ja taivutuskokeilla ja liukuominaisuuksia tutkittiin nauhanvetolaitteistolla. Eri materiaaleista valmistetuilla työkaluilla tehtiin lisäksi muovaus- ja tuotantokokeita, joilla varmennettiin ja täydennettiin laboratoriokokeiden tuloksia.

Mekaanisilta ominaisuuksiltaan ja kulutuskestävyydeltään parhaimmiksi osoittautuivat sinkkiseokset, jotka sopivat lyhyiden sarjojen työkalumateriaaleiksi vaativaankin muovaukseen. Vismuttiseokset ovat varsin pehmeitä ja ne sopivat ensisijaisesti painimen tai tynyn materiaaliksi. Muovien kulutuskestävyys kovuuteen nähden on suhteellisen hyvä ja muovityökalujen valmistus on helppoa.

Oksanen, Jarmo Kalervo: "Kallion tarkkailumittaukset".

Työn tarkoituksena oli kartoittaa olemassaolevia mahdollisuuksia kalliotilojen rakentamisen aikaisen ja jälkeisen seurannan suorittamiseksi.

Työn teoreettisessa osassa on esitelty olemassa olevia kaupallisia mittalaitteita. Pääasiassa nämä ovat erilaisia ekstensometrejä. Ei-kaupallisista mittalaitteista esitellään kohdekaivoksella Rautuvaarassa kehitetty siirtymäilmäsin. Jännitystilän muutosta voidaan mitata erilaisin keinoin.

Työn kokeellisessa osassa on esitetty Rautuvaarassa suoritettut siirtymämittaustulokset. Mittalaitteena oli tavallinen, kaupallinen 3-piste tankoekstensometri. Saatuja mittaustuloksia verrattiin elementtilaskennoin saatuihin tuloksiin. Malli oletettiin lineaarisesti kimmoiseksi. Saadut siirtymät olivat noin kolmannes mitatuista.

Parvento, Kari: "Kitkakertoimien määrittäminen kaivoksen tuuletussuunnittelussa".

Työssä tarkasteltiin ilmanvirtauksen kitkahäviöitä kaivoksen perissä ja nousuissa. Tavoitteena oli esittää menetelmä kitkakertoimen valinnalle tuuletussuunnittelussa.

Teoreettisessa tarkastelussa keskityttiin kitkakerron arvon kannalta oleellisten parametrien määrittämiseen.

Kokeellisessa osassa suoritettiin paine-eromittauksia ja virtausmittauksia kitkakertoimen määrittämiseksi. Perien kitkakerrontarkastelussa tutkittiin profiilimittauksilla määritetyn karkeusparametrin ja kokeellisesti määritetyn kitkakerron keskinäistä riippuvuutta.

Perän kitkakertoimen määrittäminen tuuletussuunnittelua varten perustuu keskimääräisiin karkeusparametrin arvoihin sekä kitkakertoimen ja karkeusparametrin keskinäiseen riippuvuuteen. Kokoprofiilinousun kitkakerron määrittämiseen virtausnopeuden perusteella.

Pyyppönen, Ismo: "Äkeen kärkilappujen kuluminen".

Työssä on tarkasteltu eräiden martensiittisten terästen abrasiivista kulumista äkeen ja kylvölannoittimen kärkilappuissa. Kulumista tutkittiin sekä äestyksen yhteydessä että jäljitellevillä kokeilla sorakuopassa ja laboratoriossa.

Materiaalien kulumiskestävyyden havaittiin olevan lähes suoraan verrannollinen niiden kovuuteen. Kuitenkaan kovuutta ei voida nostaa kovin suureksi materiaalien sitkeyden siitä kärsimättä. Laboratoriokokeilla havaittiin voitavan suhteellisen hyvin ja varsin nopeasti jäljitellä äestyksessä esiintyvää kulumista.

Tutkituista materiaaleista osoitettiin parhaaksi seostamaton, karkaistu norrutusteräs kestävänsä ja halpuutensa vuoksi.

Pönni, Heikki Juhani: "Epäpuhtauskomponenttien (As, Sb, Bi ja Pb) aktiivisuus homogeenisen kuparikiven alueella".

Työssä määrättiin arseenin, antimoinin, vismutin ja lyijyn aktiivisuuskertoimet happiköyhässä kuparikivessä lämpötilassa 1200°C, kun epäpuhtauskomponenttien pitoisuudet olivat pieniä (0,2 p-^{0/100}).

Teoriaosassa selvitettiin epäpuhtausmetallien termodynaamikkua Cu-Fe-S -systeemissä sekä näiden höyryn koostumusta kivisulan yläpuolella.

Epäpuhtauksien höyrynpaineet saatiin määrätyksi epäsuorasti kuljetusmenetelmällä kuparikiven kemiallisen analyysin muutoksesta kokeissa. Höyrynpaineista pystyttiin edelleen laskemaan kunkin komponentin aktiivisuuskertoimet.

Epäpuhtauskomponenttien aktiivisuuskertoimien todettiin riippuvan jonkin verran kiven Cu/Fe -suhteesta ja suuresti kiven stökiometriasta. Arseenilla ja antimonilla on aktiivisuuskerron pieni sulfidirajalla. Rikinpaineen nousu suurentaa niiden arvoa nopeasti, kunnes ne alkavat jälleen pienetä sulfidoitumisen seurauksena suurilla rikinpaineilla (> 0,1 atm). Vismutilla ja lyijyllä on puolestaan suuret aktiivisuuskertoimet sulfidirajalla, josta ne pienenevät jyrkästi sulfidoitumisen seurauksena, kun rikki-potentiaali nousee.

Saarnikko, Ari Tapio: "Tutkimus pystyvalumenetelmällä valetun kuparilangan kuumamuokattavuudesta ja kuumahaurausilmioista".

Outokumpu Oy:n kehittämällä pystyvalumenetelmällä valmistetaan kuparivalulankaa, ja siitä edelleen kylmämuokkaamalla kuparilankaa ja -nauhaa. Valurakenne ei

kuitenkaan ole edullinen kylmämuokkauksen lähtörakenne. Tässä työssä pyrittiin selvittämään kuumamuokkauksen soveltuvuus pystyvalun yhteyteen rakenteneen homogeenisoinniseksi. Kuumamuokkauksen onnistumisen edellytys on, että kupari rekristallisoituu ja on sitkeää muokauslämpötilassa. Muokauslämpötilan tulisi olla yli 900 C, jotta täydellinen rekristallisaatio tapahtuisi. Tällöinkin raekoko vaihtelee langan eri osissa ja rakenteeseen saattaa jäädä jäänteitä suurista valurakeista. Muokausnopeuden nostaminen parantaa rekristallisoitumista. Kuparin pintaan syntyy repeämiä, mikäli rekristallisaatio on vähäistä tai muokkausaste jää pieneksi. Repeämät syntyvät vanhoille raerajoille, jotka ovat lähes kohtisuoraan pintaan ja samalla vetojännityksiä vastaan. Verrattuna valettuun lankaan kuumamuokkaus alentaa puolek-sipehmenemislämpötilaa; sähkönjohtavuuteen sillä ei ole vaikutusta.

Simola, Ulla: "Vanteituksen työturvallisuus terästeollisuudessa".

Työlle asetettiin tavoitteeksi 1) selvittää käytössä olevat vanteitusmenetelmät, -välineet ja -materiaalit ja niihin liittyvät työturvallisuusongelmat sekä keinoja tapaturmien torjumiseksi sidonnan aikana, tuotteiden käsittelyssä ja pakkauksen purkamisessa, ja 2) arvioida ja vertailla eri vannemateriaaleja ja liitostapoja kirjallisuuden perusteella ja kokeellisesti.

Työssä on aluksi selvitetty vanteituksen peruskäsitteet ja terästeollisuuden tuotantoprosessiin liittyvät vanteitus-tapaturmat.

Työturvallisuusosa perustuu tapaturmailmoituksiin ja työntekijöiden kanssa käytyihin keskusteluihin. Riskit on lueltu työvaiheittain. Samassa yhteydessä on esitetty keinoja niiden torjumiseksi. Lisäksi on käsitelty vanteiden rikkoutumista kuljetuksen aikana. Muovivanteet ovat teräsvanteita turvallisempia.

Vanteille ja liitoksille tehtiin vetokokeet. Teräsvanteelta toivotaan suurta murtovenymän aluetta. Myötölujuuden suhde murtolujuuteen tulee olla n. 0,8. Testattu high-tensile -vanne venyi n. 10 % ja σ_s / σ_B oli 0,82. Normaali-vanteilla vastaavat arvot olivat 2 % ja 0,95—0,98. Teräsvanteilla liitokset kestivät 30—86 % vanteenlujuudesta. Muovivanteilla liitos/vanne -suhde oli 30—63 %.

Johtopäätösoasassa käsiteltiin vanteen valintaan vaikuttavia tekijöitä kirjallisuuden ja koetulosten perusteella. Tärkein valintakriteeri on vetolujuus. Muita huomioitavia tekijöitä ovat hinta, joustavuus, korroosionkestävyys, loviherkkyyden, jäämäjännitte, lukitustekniikka, fibrilloituminen, jäykkäysmomentti ja työturvallisuus.

Tonteri, Hannele: "Työilman hiukkasmaiset epäpuhtaudet kobolttijauheen valmistusprosessissa".

Kobolttitehtaan ilmasta työkohteittain kerätyistä pölynäytteistä tutkittiin prosessin eri vaiheille tyypillisiä hiukkasmaisia epäpuhtauksia. Pölynäytteet kerättiin työhygieenisissä mittauksissa standardoiduilla menetelmillä.

SEM:llä, johon on liitetty aallonpituusdispersiivinen mikroanalyysointilaitteisto, tutkittiin epäpuhtauspartikkelien kokoa, muotoa ja koostumusta. Alkuainepitoisuudet pölystä määritettiin atomiabsorptionanalyysillä ja metalliyhdisteet röntgendiffraktiolla ja mikroσκοοπισesti. Lisäksi työssä määritettiin metallien liukoisuudet. Partikkelikokojakautuma määritettiin Coulter-Counterilla ja mikroσκοοπισesti.

Analyysien perusteella pasuton ilman pölystä voitiin tunnistaa hematiiittiä, kvartseja ja erilaisia metallisulfideita. Kobolttia oli pasuton ilmassa 0,7 % ja koboltti esiintyi muiden metallien kanssa yhdisteinä eikä puhtaita kobolttipartikkeleita esiintynyt. Pasuton ilman sisältämästä kobolttista oli 51 % vesiliukoisessa muodossa. Partikkeleita, joiden koko on $\leq 10 \mu m$ on pasuton ilmassa 45—50 %. Saostamon ilman pöly sisälsi 40 % kobolttia, joka on pääasiassa vesiliukoisena kidevedellisenä ammoniumsulfatina. Hienokobolttin pakkauspaikalla ilman pölyn pääaineena on happoliukoinen metallinen α - ja β -koboltti.

Tutkimuksessa on tarkasteltu erilaisia menetelmiä ja niihin liittyviä rajoituksia, joita voidaan käyttää metallurgisessa prosessissa esiintyvien pölyjen selvittämiseen. Tutkimus antoi käytännön kannalta uutta tietoa eri menetelmien soveltuvuudesta monimutkaisten metalliyhdisteiden tunnistamisessa.

Tähtinen, Seppo: "Vedyn aiheuttamat faasimuutokset austeniittisissa ruostumattomissa teräksissä".

Työssä tutkittiin vedyn aiheuttamia faasimuutoksia

austeniittisissa ruostumattomissa teräksissä. Lisäksi tutkittiin vetyvarauksen yhteydessä syntyvien pintasaröjen kristallografiaa.

Kirjallisuustutkimuksessa on painotettu vedyn aiheuttamia faasimuutoksia metalleissa yleensä ja pyritty selvittämään näiden faasimuutosten edellytyksiä. Lisäksi on käsitelty vedyn aiheuttamia faasimuutoksia austeniittisissa ruostumattomissa teräksissä. Kokeellisessa osassa pääosan muodostavat röntgendiffraktiomittaukset. Vetyvaraus suoritettiin sähkökemiallisesti käyttäen nk. katodista polarisaatiomenetelmää. Työn yhteydessä kehitettiin vetyvarauslaitteisto, jonka avulla vetyvaraus ja röntgendiffraktiomittaus voitiin suorittaa samanaikaisesti. Pintasaröjen muodostumista tutkittiin AISI 316 erilliskiteen avulla.

Saatujen koetulosten mukaan vedyn aiheuttamat faasimuutokset tapahtuvat seuraavasti: ensin austeniitin hila laajenee ja vetyatomit muodostavat rykelmiä. Vetypitoisuuden kasvaessa vetyrykelmät kasvavat ja syntyy koherentti faasi, joka vetypitoisuuden edelleen kasvaessa muuttuu puoli- tai epäkoherentiksi faasiksi θ . Kyseessä olevaa faasia ei ole kirjallisuudessa aiemmin todettu, joten tässä yhteydessä siitä käytetään merkintää θ . Vetyvarauksen jälkeen havaittiin martensiittifaaseja: AISI 310 ja AISI 316 teräksissä ϵ -martensiittia ja AISI 304 teräksessä ϵ - ja α -martensiittia. Lisäksi havaittiin metastabiili faasi, joka häviää vetypitoisuuden pienetessä. Saaduilla koetuloksilla on erityistä merkitystä ympäristön aiheuttamien murtumisilmiöiden tutkimisessa. Vetyvarauksessa syntyvät pintasaröt muodostuvat AISI 316 erilliskiteessä austeniitin (110) ja (111) tyyppisille hilatasoille.

Wallin, Kim: "Kornstorlekens inverkan på ett seghärningsstål brottseghet vid låga temperaturer".

I arbetets teoridel granskades faktorer som inverkar på den ursprungliga austenitens kornstorlek. Dessutom behandlades austenitiserings-temperaturer och den ursprungliga austenitkornstorlekens inverkan på seghärningsstålens mikrostruktur och via det på stålets mekaniska egenskaper.

Vid de mekaniska materialproven undersöktes hårdheten, styrkan, slagsegheten samt brottsegheten efter skiftande värmebehandlingar för två modifikationer av ett medelkolhaltigt seghärningsstål.

Slag- och brottseghetsproven gav motstridiga resultat vilka förklarades med hjälp av klyvbrotstyrkan och det karakteristiska avståndet. Klyvbrotstyrkan sjönk och det karakteristiska avståndet växte då austenitkornstorleken växte.

TURUN YLIOPISTO

Geologian ja mineralogian osasto

Filosofian kandidaatit:

Lindberg, Antero: "Utön alueen geologiasta".

Lounais-Suomen saaristossa sijaitsevan kartoitusalueen svekofennidiset pintakivet ovat sarvivälke-, kiille- ja kvartsi-maasälpägneissejä, joista voimakas metamorfoosi on tuhonnut lähes kaikki kivilajien primääripiirteet kerroksellisuutta lukuunottamatta. Metamorfoituneet sedimenttiset ja vulkaaniset liuskeet ovat alueen vanhimmat kivilajit. Syväkivilajit ovat pääasiassa pintakivilajien poimuttuessa tunkeutuneita synorogeenisia granodioriitteja ja viimeistä magmavaihetta edustava myöhäisorogeeninen mikrokliniigraniitti, joka migmatisoit kaikkia varhaisempia kivilajeja. Orogenian välivaiheessa tunkeutivat emäksiset juonikivilajit. Kivilajien ja tektoniikan kuvauksen ohella tutkielmassa esitetään silikaatti- ja moodianalyysijä sekä tektonisia diagrammeja.

Roos, Seppo: "Ilomantsin Jerusalemin molybdeeniesiintymästä".

Tutkimusalue sijaitsee kalkki-alkaliseen kivilajisarjaan kuuluvalla Ilomantsinjärven massiivilla. Massiivin kivilajien koostumus vaihtelee tutkimusalueella tonali-

tista graniittiin. Lisäksi on emäksisiä liuskejäänteitä, joista lavataan paikoin heikkoa kuparikiisu-, sinkkivälke- ja lyijyhohdepirotetta. Metadiabaasi-juonet leikkaavat alueen kaikkia muita kivilajeja.

Granitoidi ja sitä leikkaavat kvartsijuonet ovat molybdeenihohteen isäntäkivenä. Muita malmimineraaleja ovat pääasiassa rikki- ja kuparikiisu. Malmimineraalit ovat yleensä pirotteisia. Mo-S-Cu kolmiodiagrammit luonnehtivat sulfidien esiintymistä.

Alueella todettu kalimetasomaattinen muuttuminen näyttää sopivan Mo-Cu -esiintymän yhteyteen. Esiintymän Mo- ja Cu-anomaliaa ympäröivät osittain päällekkäiset Co- ja Zn-kaaret. Granitoidin alumiini-alkalit-suhteen käyttäytyminen on vastaavanlainen kuin saaristokaarimiljöössä olevien porfyirikupariesiintymiä sisältävien massiivien. Porfyriesiintymille luonteenomaisia muuttumiskehiä ei kuitenkaan ole voitu selvästi osoittaa.

Maaperägeologian osasto

Filosofian kandidaatti:

Salonen, Veli-Pekka: "Ablaatiomoreenin synty, kivilajikoostumus ja käyttö malminetsinnässä Merikarvian alueella, Länsi-Suomessa".

Merikarvian alueella tutkittiin ablaatiomoreenin lohkarokuljetusta ja malminetsinnällistä käyttöä. Pääasiallisina tutkimusmenetelminä olivat lohkarokuljetus, joissa käytetty mahdollisimman tarkka kivilajiluokitus pohjautui samanaikaisesti suoritettuun kallioperäkartoitukseen. Aineistoa käsiteltiin muun muassa rajaamalla moreenin lohkarokaineesien kertymäalueita ja suorittamalla lohkarokamateriaalille BMDP-ohjelmapaketin ryhmittelyanalyysijä. Suoritetuilla analyyseillä voitiin ablaatiomoreenin lohkarokaineesille esittää glasiaalikuljetukseen liittyvää suunta- ja matkatietoa ja antaa hyvä lähtökohta aineksen malminetsinnälliselle käsittelylle. Ablaatiomoreeni osoitautui synnyltään deglasiatiovaiheeseen liittyväksi, sen kokonaiskuljetusmatka oli huomattavasti lyhyempi kuin sen alla olevan nuorimman pohjamoreenin, josta se myös kuljetussuuntansa puolesta poikkesi.

ABO AKADEMI

Geologisk-mineralogiska institutionen

Filosofiekandidat examen:

Lehtiö, Marianna: "Kalliosalo antimonförekomst i Nurmo, Sydösterbotten".

Bergarterna i Kalliosalo hör till den svekofenniska skifferzonen i Sydösterbotten. Den understa enheten i suprakrustalserien utgörs av en sur vulkanit. Till största delen består berggrunden av vulkaniska blandbergarter och epiklastiska skiffrar. Plagioklasporfyrit och pegmatitgranit har intruderat i lagererien. Området har genomgått två veckningsfaser och metamorfosen har skett i två skeden, först i amfibolitfacies och senare i en retrograd metamorfos.

Tenn och dess mineral samt arsenikkis förekommer i mobiliserade kvartspartier. As och Sb har liksom kvartsen anrikats i restlösningar och kristalliserat i ådror. Efter att As förbrukat sin andel av svavel och järn, bands resten av dessa två element till Sb som bertierit, gudmundit och stibnit. Det sista tennet kristalliserade som gediget antimon.

Undersökningen av fluidinklusionerna visar, att stibnitens bildat en primär antimonimpregnation av stratabound-typ i tuffiten. De silikatrika lösningarna har senare upplöst och mobiliserat malmmineral, som utfällts tillsammans med kvarts i ådror. Samtidigt har malmmineralfattiga, silicifierade aureoler bildats kring kvartsådrorna. Kvartsens primära fluidinklusioner homogeniserats till gas vid 276°C, som därmed är minimitemperaturen för denna händelse. Kvartsådrorna skärs av mikrosprickor med sekundära fluidinklusioner, som innehåller senare malmförande lösningar. Den yngsta företeelsen är ytförvittringen av magnetkis till "vattenkis" och av antimonmineral till bl.a. kermesit.

Vuorimiesyhdistys — Bergsmannaföreningen r.y.

HALLITUKSEN TOIMINTA VUODELTA 1981

Vuosikokous

Vuorimiesyhdistyksen sääntömääräinen 38. vuosikokous pidettiin Helsingissä 27. 3. 1981. Kokouksen avasi puheenjohtaja Aimo Mikkola katsauksella vuoriteollisuuden kehitykseen vuonna 1980.

Yhdistyksen puheenjohtajaksi seuraavaksi toimikaudeksi valittiin prof. Aimo Mikkola ja varapuheenjohtajaksi TkT Krister Relander.

Virallisten kokousasioiden jälkeen kuultiin seuraavat esitelmät:

- Toimitusjohtaja Tor Stolpe: "Konepaja- ja telakateollisuutemme tulevaisuuden näkymiä".
- Tekn. tri Krister Relander: "Suuntaukset teräslaatu-
jen kehitystyössä".
- Direktör K-G Bergh: "Jernkontorets forskning —
nordiskt samarbete i praktiken".

Jaostot kokoontuivat iltapäivällä omien erikoisalojensa merkeissä.

Illallistanssiaisissa ravintola Marskissa vastasi isännyydestä Rautaruukki Oy.

Toimihenkilöt

- puheenjohtajana prof. Aimo Mikkola
- varapuheenjohtajana TkT Krister Relander
- hallituksen jäseninä
 - DI Caj Gustafsson
 - DI Jorma Illi
 - DI Matti Kilpinen
 - DI Lauri Koivikko
 - DI Kristian Lobbas
 - DI Matti Palperi
 - FT Pentti Rouhunkoski
 - DI Antti Tuomala
 - TkT Eino Uusitalo
- rahastonhoitajana TkL Heikki Aulanko
- sihteerinä TkT Matti Ketola ja DI Erkki Tyni.

Yhdistyksen toiminta

Hallitus on kokoontunut toimintavuoden aikana viisi kertaa. Kokouksissa ovat olleet läsnä myös jaostojen puheenjohtajat, rahastonhoitaja ja tutkimusvaltuuskunnan puheenjohtaja.

Hallituksen asettama työryhmä on tehnyt selvityksen yhdistyksen sihteerien, rahastonhoitajan, tutkimusvaltuuskunnan sihteerin ja Vuoriteollisuus-lehden toimitus-
sihteerin tehtävistä ja niiden uudelleenjärjestelystä.

Hallitus on käsitellyt Eero Mäkinen -ansiomitalin ja kopperusteita ja täsmäntänyt mitalia koskevat säännöt.

Hallitus on toteuttanut taiteilija Kaisa Kiukkolan tekemän ehdotuksen pohjalta Vuorimiesyhdistyksen viiri-
hankkeen ja hyväksynyt viirin säännöt.

Yhdistyksen lehti Vuoriteollisuus-Bergshanteringen on ilmestynyt kaksi kertaa. Lehden päätoimittajana on toiminut professori Martti Sulonen ja toimitusneuvoston puheenjohtajana TkT Kalevi Kiukkola. Informaatiota hallituksen ja tutkimusvaltuuskunnan toiminnasta on pyritty tehostamaan lehdessä. Suomen vuoriteollisuusalan yhtiöiden, opetus- ja tutkimuslaitosten sekä yhdistysten osoitteisto ja tiedosto sekä uusittu jäsenluettelo julkaistiin toimintavuoden aikana.

Svensk Gruvföreningenin vuosikokouksessa 27. 11. edusti yhdistystä DI C-E Gustafsson. N. I. F. Bergingeniörens Avdeling'in syyskokouksessa 28.—30. 10. yhdistyksen edustajana oli DI Timo Välttilä. The Metals Society vuosikokouksessa 11.—13. 5. yhdistyksen edustajana oli DI Nils Gripenberg.

Jaostot

Pääosan yhdistyksen toiminnasta on muodostanut jaostojen aktiivinen toiminta eri muodoissa.

Jaostot ovat järjestäneet koulutus- ja esitelmätilaisuuksia sekä ammatillisia retkiä jäsenistönsä alalta. Jaostot ovat ylläpitäneet yhteyksiä alansa muihin yhdistyksiin kotimaassa ja kansainvälisellä tasolla. Tarkemmin jaostojen toiminta on esitetty kunkin omassa toimintakertomuksessa.

Yhdistyksen jäsenmäärä

Yhdistyksen jäsenmäärä 31. 12. 1981 oli 1579, jossa lisäystä edellisestä vuodesta 59. Uusia jäseniä tuli yhdistykseen 71, kuoleman kautta poistui jäsenyydestä 3 ja muuten erosi 9.

Tutkimusvaltuuskunta

Tutkimusvaltuuskunta on kokoontunut toimikauden aikana kerran. Valtuuskunnan puheenjohtajana on toiminut prof. Heikki Paarma, varapuheenjohtajana DI Timo Välttilä ja sihteerinä DI Antti Öhberg.

Toimikuntien puheenjohtajina ovat toimineet:

- Geologinen toimikunta: FM Esko Lundén
 - Kaivosteknillinen toimikunta: prof. Raimo Matikainen
 - Rikastusteknillinen toimikunta: DI Risto Rinne
- Toiminnassa on ollut viisi kollektiiviprojektia, neljä työkomiteaa ja viisi esiselvitystä.

Pohjoismaista yhteistyötä on jatkettu ja työn merkeissä on Ruotsista saatu 12 tutkimusselostetta ja Norjasta 6 selostetta. Pohjoismaisille sisarjärjestöille on toimitettu kahden tutkimusselosteen ruotsinkieliset lyhenne-
nimet sekä vuoriteollisuusalan osoitteisto ja tiedosto.

Yhteispohjoismaisia kokouksia pidettiin seuraavasti: geologisten toimikuntien yhteispohjoismainen kokous pidettiin Nilsin Tahkovuorella 22.—23. 4. ja rikastusteknillisten toimikuntien yhteispohjoismainen kokous Norjan Kristiansandissa 17.—19. 8.

Tilivuoden aikana valtuuskunnan menoihin on käytetty 98 094,50 mk.

Vuorimiesyhdistyksen hallitus

Aimo Mikkola
puheenjohtaja

Matti Ketola
sihteer

TULOSLASKELMA 1. 1.—31. 12. 1981

Tulot

Jäsenmaksut	57 700,—
Tutkimusvaltuuskunnan kan- natusmaksut	88 000,—
Esiselvitysten osallistumis- maksut	38 554,—
Lahjoitukset (Ovako Oy Ab) ..	5 000,—
Lehden tulot	97 024,40
Selosteiden, painotuotteiden myynti	8 241,50
Solmioiden, "taskumattien", mitalien myynti	6 090,—
Jäsentoiminnan tulot	36 099,—
Kaivos- ja louhintatekniikan käsikirjan ilmoitustulot ...	81 000,—
Tulot yhteensä	417 708,90

Menot

Tutkimusvaltuuskunnan suorat menot	54 534,95
Tutkimusvaltuuskunnan esiselvitysten menot	78 833,35
Lehden menot	110 662,15
Selosteiden valmistus	3 280,20
Solmioiden hankinta	4 791,80
Kaivos- ja louh.tekn.käsikirjan toimitus ja painatus	80 198,10
Jäsentoiminta ja koulutus ...	48 597,59
Matkat ja avustukset	700,—
Jäsenluettelon ylläpito	2 464,—
Jäsenluettelon painatus	15 283,—
Vuoriteollisuusalan osoitteisto ja tiedosto	5 460,—
Virkailijapalkkiot	22 000,—
Sosiaaliturvamaksut	2 168,—
Toimisto- ja sekalaiset menot	6 812,83
Vuosijuhlamenot	11 275,10

447 061,07
— 29 352,17

Muut tulot

Korkotulot	2 286,62
Tilivuoden alijäämä mk	27 065,55

TASE 31. 12. 1981

Vastaavaa:

Rahoitusomaisuus		
— Kassatili	168,33	
— Postisiirtotili	53 800,50	
— Postisiirtotalletustili	6 999,43	
— PSP- pankkitili	433,80	61 402,15
Tilisaamiset		108 425,20
		<u>Mk 169 827,35</u>

Vastattavaa:

Vieras pääoma		
— Tilivelat	127 159,10	
— Verovelat	5 417,—	
— Eläkemaksuvaraus	2 348,10	134 924,20
Oma pääoma		
— Ylijäämä ed. vuodelta	61 968,70	
— Tilikauden alijäämä	27 065,55	34 903,15
		<u>Mk 169 827,35</u>

TULO- JA MENOARVIOEHDOTUS VUODELLE 1982

Tulot		
Jäsenmaksut 60 mk/jäsen	90 000,—	
Koulutuskannatusmaksu		
Ovako Oy Ab	5 000,—	
Petter Forsström -palkinto		
Oy Lohja Ab	3 000,—	98 000,—
Lehden tulot		120 000,—
Käsikirjan ilmoitus- ja myyntititulot		42 000,—
Tutkimusvaltuuskunnan kannatusmaksut	100 000,—	
Tutkimuslusesteiden ja julkaisujen myynti	10 000,—	110 000,—
Solmioiden, "taskumatien", mitalien myynti		4 500,—
Korkotulot		1 500,—
Tulot yhteensä		<u>376 000,—</u>

Menot

Tutkimusvaltuuskunnan suorat menot	61 000,—	
Esiselvitykset ja tutkimukset ..	45 000,—	
Selosteiden monistus, sitominen	10 000,—	116 000,—
Lehden menot		120 000,—
Käsikirjan toimitus ja painatus		45 000,—
Jäsenoiminta ja koulutus	15 000,—	
Avustukset ja matkat	5 000,—	20 000,—

Muut kulut

Virkailijapalkkiot	32 000,—	
Sotu-, eläke- ja vakuutusmaksut	5 000,—	37 000,—
Toimisto- ja sekalaiset kulut	8 000,—	
Jäsenluettelon ylläpito	3 000,—	
Petter Forsström -palkinto ..	3 000,—	
Mitalien ja viirien hankinta ..	3 500,—	
Vuosijuhlamenot	13 500,—	31 000,—
Menot yhteensä		369 000,—
Tilikauden 1982 ylijäämä		7 000,—
		<u>376 000,—</u>

Ylijäämä edellisiltä vuosilta ..	34 903,15
Tutkimusvaltuuskunnan alijäämä	— 6 000,—
Yhdistyksen muun toiminnan ylijäämä	+13 000,—
Ylijäämä vuodelle 1983	<u>41 903,15</u>

GEOLOGIJAOSTON TOIMINTAKERTOMUS 1981

Vuosikokous

Vuosikokous pidettiin Vuorimiesyhdistyksen vuosikokouksen yhteydessä Helsingissä Rakennusmestarien talolla 27.3.1981. Kokouksessa oli läsnä 152 jaoston jäsentä. Virallisten kokousasioiden jälkeen kuultiin seuraavat esitelmät:

— TkL Pertti Kostamo, Ovako Oy Ab: "Teräksen valmistuksessa käytettävät seos- ja lisäaineet".

— Apul. prof. Gabor Gaál, Helsingin Yliopisto: "Keski-Lapin liuskealueen Fe-, Cr ja V-malmipotentialista".
— DI Aimo Hattula, Rautaruukki Oy: "Geofysiikan käyttö rautamalmitutkimuksissa".
— FK Boris Saltikoff, Geologinen tutkimuslaitos: "Malmilohkaretiedostosta".

Toimihenkilöt

Toimintavuoden aikana jaoston puheenjohtajana on toiminut FT Kauko Puustinen, varapuheenjohtajana apul. prof. Gabor Gaál, jäseninä DI Aimo Hattula, FL Lennart Laurén, FK Jouni Reino ja sihteerinä FK Maria Nikkarinen.

Toiminta

Geologijaosto on kokoontunut toimintavuoden aikana neljästi: vuosikokoukseen, syysretkelle ja kahteen seminaariin. Johtokunnan kokouksia on vuoden aikana pidetty kolme.

Ekskursio tehtiin Kainuuseen 8—9.9.1981. Retkeen osallistui 47 henkeä. Kohteina olivat ensimmäisenä päivänä Sotkamon Talvivaaran mustaliuske-esiintymä ja Otanmäen kaivos. Toisena päivänä tutustuttiin Kuhmon liuskealueen happamiin ja intermediäärisiin vulkaniitteihin Tipasjärven alueella sekä Siivikon alueen emäksisiin ja ultraemäksisiin vulkaniitteihin. Oppaina toimivat FK Timo Heino, FL Eero Rauhamäki, FK Risto Anttonen, FM Ole Lindholm, FM Olof Rosenlund, FK Kalle Taipale, FK Ilkka Tuokko ja FK Timo Kopperoinen, Ekskursio-mestarina toimi FK Jouni Reino. Ekskursiosta tehtiin moniste.

Geologijaosto järjesti yhdessä rikastus- ja prosessiteknikan jaoston kanssa teollisuusmineraalisesiintymänsä 6.10.1981 Espoossa Teknillisellä korkeakoululla. Seminaarissa tarkasteltiin teollisuusmineraalien esiintymistä Suomessa sekä niiden hyödyntämiseen liittyviä ongelmia. Seminaaria pidettiin erittäin hyödyllisenä ja jatkossakin toivottiin järjestettävän jaoston yhteissymposiota. Seminaarin esitelmistä on laadittu moniste.

Geologijaoston toiminnan piiriin kuuluivat ensimmäistä kertaa ja kaikenkaikkiaan kolmatta kertaa geofysiikan neuvottelupäivät, jotka järjestettiin 10—11.11.1981 Rovaniemellä. Tilaisuudessa pidettiin 25 esitelmää ja lisäksi esitettiin katsaukset yhtiöiden ja laitosten geofysiikan aktiviteetteihin. Päivien pääjärjestäjänä oli DI Timo Rekola ja geologijaoston puolesta yhdyshenkilönä toimi DI Aimo Hattula. Neuvottelupäiviä on tarkoitus jatkaa pitämällä niitä joka toinen syksy.

Tulevasta toiminnasta

Alustavasti on suunnitteilla järjestää syksyn ekskursio Lounais-Suomeen.

Jäsenet

Geologijaoston jäsenmäärä vuoden 1981 lopussa oli 342 jäsentä.

Helsingissä 24.3.1982

Kauko Puustinen
puheenjohtaja

Maria Nikkarinen
sihteerinä

KAIVOSJAOSTON TOIMINTAKERTOMUS VUODELTA 1981

Vuosikokous

Kaivosjaoston vuosikokous pidettiin Vuorimiesyhdistyksen vuosikokouksen yhteydessä 28.3.1981 Helsingissä Hotelli Marskissa. Läsnä oli noin 100 jaoston jäsentä. Kokousasioiden jälkeen kuultiin seuraavat esitelmät:

— Prof. Raimo Matikainen: "Alan tutkimus ja kehitys HTKK:ssa".
— DI Rolf Ström: "Konevalmistajan R & D".
— FM Ole Lindholm: "Tiedonanto ISM:n kokouksesta Varnassa".
— DI Andrzej Zablocki: "Puolan kaivostraditio".
Esitelmien jälkeen käytiin niihin liittyvä keskustelu.

Toimihenkilöt

Toimintavuonna on jaoston puheenjohtajana ollut DI Rolf Söderström ja hallituksen muina jäseninä DI Esko Alopaeus, DI Carl-Fredrik Bäckström, DI Pentti J. Hintikka ja DI Pekka Sundqvist. Sihteerinä on toiminut bergsing. Nils-Åke Astermo.

Toiminta

Kaivosjaosto on kokoontunut toimintavuoden aikana kahdesti: VMY:n vuosikokouksen yhteydessä sekä jaoston

syysretkellä. Tämän lisäksi jaoston johtokunta on koontunut kolme kertaa.

Syysretki, johon osallistui 42 jaoston jäsentä, suuntautui Puolaan 13—20.9.1981. Matkakertomus retkestä on julkaistu Vuoriteollisuus — Bergshanteringen -lehdessä no 2/1981. Retken yhteydessä Hotelli Cracoviassa Krakovassa pidetyn syyskokouksen jälkeen kuultiin kaivosturvallisuusteemasta seuraavat esitelmät:

- Kaivostarkastaja Pekka Heiskanen: "Työturvallisuuden kehitys viimeisten 10 vuoden aikana".
- DI Erkki Reinikka: "Räjähdyssainealan kehitys kaivoksissa turvallisuusnäkökulmasta".
- DI Osmo Parviainen: "Vuoden 1975 turvallisuusmääräysten aiheuttamat toimenpiteet".

Jatkokoulutustilaisuus aiheesta "Kaivosten työsuojelu" on suunnittelun alla ja pidetään viikolla 16.

Kaivos- ja louhintatekniikan käsikirja ilmestyy vuoden 1982 alkupuolella.

Kaivosjaoston puheenjohtaja on perinteiseen tapaan toiminut Bergsprängningskommitténin, Svenska Gruvföreningenin, BeFo:n sekä NIF:n yhdysmiehenä.

- Muina yhdysmiehinä ovat toimineet:
- FM Ole Lindholm, International Society of Mine Surveying
- Prof. Raimo Matikainen, International Society of Rock Mechanics
- FL Eero Rauhamäki, ISM:n 2. komitean jäsen
- DI Timo Välttilä edusti jaostoa NIF:n kokouksessa.

Jäsenet

Kaivosjaoston jäsenmäärä oli vuoden 1981 lopussa 336 henkeä.

Rolf Söderström
Puheenjohtaja

Nils-Åke Astermo
Sihteeri

METALLURGIJAOSTON TOIMINTAKERTOMUS VUODELTA 1981

Vuosikokous

Metallurgiaoston vuosikokous pidettiin Vuorimiesyhdistyksen vuosikokouksen yhteydessä 27.3.1981 Helsingissä Rakennusmestarien talolla. Läsnä oli 142 metallurgiaoston jäsentä.

Vuosikokouksen yhteydessä kuultiin seuraavat esitelmät:

- DI Arto Riihimäki, A. Ahlström Oy: "Valuterästen metallurgian kehitysnäkymiä".
- TkL Raimo Soininen, Rautaruukki Oy: "Näkökohtia hitsattujen teräsputkien ja putkipalkkien materiaalivaatimuksista, valmistuksesta ja käyttöominaisuuksista".
- DI Jukka Pesonen, Outokumpu Oy: "Sinkin tuotanto ja monipuoliset käyttömahdollisuudet".

Dagen efter tutustuttiin Tekniikan Museoon Vantaan haarojen välissä. Retkelle osallistuneet 56 vuorimiesyhdistyksen jäsentä kestettiin runsain suolakurkuin. Oppaina toimivat museonjohtaja Pentti Markkanen ja museomestari Lars J. Hukkinen.

Toimihenkilöt

Toimintavuoden aikana jaoston puheenjohtajana on toiminut DI Jaakko Lautjärvi, varapuheenjohtajana DI Matti Palperi, sihteerinä TkT Jorma Rekola sekä jäsenenä TkL Markku Kytö, DI Nils-Göran Mattfolk, TkT Juho Mäkinen, DI Tapio Saari ja DI Tero Tiitola.

Toiminta

Metallurgiaosto on kokoontunut toimikauden aikana vuosikokoukseen ja syyskokoukseen. Johtokunta on koontunut seitsemän kertaa.

Jaoston kesäretki tehtiin 28.8.1981 Tampereelle. Pääisäntänä toimi Rauma-Repola Oy:n Lokomon Tehdas ja muina kohteina olivat Valmet Oy, Oy Tampella Ab ja Tampereen kirjapaino Oy.

Rekristallisaatio tapahtui Siivikkalassa, missä 104 metallurgia mustaa makkaraa mutustellen ratkoi metallurgi-polun visaisia kysymyksiä. Illalliskeskustelut käytiin hotelli Rosendahlissa.

Syyskokous pidettiin Teknillisen korkeakoulun Vuoriteollisuusosastolla, Otaniemessä, 30.10.1981. Läsnä oli 61 metallurgia.

Kokousoisitelmät käsittelivät kehitystavoitteita, mahdollisuuksia laatuavoitteisiin pääsemiseksi sekä epäpuhtauksien rooleja. Esitelmöitsijöinä olivat DI Erkki Ström, prof. Lauri Holappa, dos. Heikki Jalkanen, DI Mauri Veistinen, DI Kaj Österlund, DI Ilkka Lahti ja TkL Raimo Rintamaa.

Päeesitelmissä tulivat esiin mm. seuraavat korostukset:

- Romu — laatuvalvottava energiapakkaus
- Standardit — historiallinen taantumus
- Väistötekniikka — kiertoteiden kustannukset
- Precision steelmaking — tarkkuusteräksen valmistus

Esitelmät olivat poikkeuksetta korkeatasoisia ja osoittivat tieteen eturintaman olevan tuloksellisesti ajan hermolla.

Saunominen, iltapala ja suhteiden hoito tapahtui Dipolissa. Tukijoina olivat Oy Aga Ab, Oy Airam Ab, Fermater Oy, Grönberg Oy, Oy Suomen Bofors Ab ja Suomivalimo Oy.

Koulutustoiminta on hoidettu Metallurgian Valtakunnallisen Asiantuntijatoimikunnan (VAT) kautta. Puheenjohtajana on toiminut TkL Markku Kytö. Yhteistoimintain SKON kanssa järjestettiin kaksi koulutustilaisuutta:

"Senkkametallurgia", 20.—22.1.1981 ja 19.—21.5.1981, Tampere. Suunnittelutoimikunnan puheenjohtaja: TkT Kari Tähtinen.

Kursseille osallistui yhteensä 57 henkilöä, joista suurin osa, samoin kuin luennoitsijoista ja suunnittelutoimikunnan jäsenistä, oli metallurgiaoston jäseniä.

Teknillisen korkeakoulun Vuoriteollisuusosastolla järjestettiin lisäksi kaksi jatkokoulutuskurssia:

"Faasipiirrosten soveltaminen metallurgiassa" 22.—24.4.1981 ja "Korkealämpötilaprosessit ja niiden problematiikka metallurgisen teollisuuden ulkopuolella" 23.11.1981. Kursseille osallistui 85 henkilöä, joista teollisuudesta 25.

Metallien perusteellisuuden informaatioilta ensimmäisen vuosikurssin vuorimiehille järjestettiin 12.3.1981 Otaniemessä. Operaatiosta vastasi TkL Markku Kytö.

Metallurgiaoston korkeakouluyhdysmiehet kokoontuivat Otaniemessä 30.10.1981.

Jaoston lehti, "Metallurgiaosto tiedottaa", on ilmestynyt kolme kertaa. Vastaavana toimittajana on ollut TkT Jorma Rekola.

Jäsenet

Jaoston jäsenmäärä kasvoi 3,3 prosentilla (5,3 % v. 1980) ja oli 31.12.1981 879 jäsentä. Vuoden aikana jäseniä on liittynyt 34 (58), eronnut 5 (8), kuollut 1 (1) ja siirtynyt jaostosta 0 (6).

Jaoston jäsenmäärä 1.3.1982 oli 897.

Jaakko Lautjärvi
puheenjohtaja

Jorma Rekola
sihteeri

RIKASTUS- JA PROSESSITEKNIKAN JAOSTON TOIMINTAKERTOMUS VUODELTA 1981

Jaoston vuosikokous pidettiin Vuorimiespäivien yhteydessä 27.3.1981. Kevätretkellä 5.6.1981 vierailtiin Kemira Oy:n Siilinjärven tuotantolaitoksilla. Marraskuussa pidettiin geologijaoston kanssa yhteinen seminaari aiheesta "Teollisuusmineraalit".

Vuosikokous

Kokouksessa 27.3.1981 kuultiin seuraavat esitelmät:

- Prof. Sakari Heiskanen, VTT: "Miksi VTT:n mineraalitekniikan laboratorio siirretään Outokumpuun?"
- DI Lauri Heikkilä, Kone Oy: "Fosfaattikaivoksen perustaminen Tansaniaan".

VTT:n mineraalitekniikan laboratorion siirtäminen Outokumpuun on herättänyt laajaa mielenkiintoa vuorimiesten piirissä. Esitelmää kuuntelemassa oli useita muiden jaostojen jäseniä ja sen jälkeen oli poikkeuksellisen vilkas keskustelu.

Kokoukseen osallistui 67 jaoston jäsentä.

Kevätretki

Kevätretki tehtiin 5.6.1981 Kemira Oy:n Siilinjärven tuotantolaitoksille.

Yleisestitelyn jälkeen tutustuttiin lannoite- ja fosforihappotehtaisiin sekä apatiittikaivokseen ja -rikastamoon. Jäsenten mielenkiintoa herättivät uuden apatiittirikastamon monet prosessi- ja laiteteknilliset sovellutukset, jotka tekivät mahdolliseksi taloudellisesti käsitellä suomalaista apatiittimalmia.

Kevätretkeen osallistui 39 jaoston jäsentä.

Seminaari

Geologijaosto sekä rikastus- ja prosessitekniikan jaosto järjestivät 6.11.1981 Espoossa Teknillisen korkeakoulun tiloissa yhteisen seminaarin aiheesta "Teollisuusmineraalit".

Puheenjohtajina seminaarissa toimivat prof. T. Lukkarinen ja FT K. Puustinen.

Prof. T. Lukkarisen avaussanojen jälkeen kuultiin seuraavat esitelmät:

- Joht. V. Juntunen, Oy Lohja Ab: "Teollisuusmineraalit Suomessa".
- FM R. Boström, Oy Partek Ab: "Spodumeenitukimuksista Pohjanmaalla".
- DI H. Haveri, Yhtyneet Paperitehtaat Oy: "Talkki teollisuusmineraalina".
- FM R. Saikkonen, Oy Lohja Ab: "Kvartsi teollisuusmineraalina".
- DI H. Laapas, TKK: "Petrosulfonaatit teollisuusmineraalien vaahdotuksessa".
- DI H. Eronen, Larox: "Teollisuusmineraalien luokitus".
- FL Y. Pekkala, Geologinen tutkimuslaitos: "Kaoliinin esiintyminen Suomessa".

Seminaarien esitelmistä on julkaistu esitelmämoniste (sarja B).

Yhteiseen seminaaritulaisuuteen osallistui n. 110 henkilöä.

Jaoston johtokunta 28. 3. 1981 lähtien:

Puheenjohtaja: Toimi Lukkarinen
Varapuheenjohtaja: Lauri Heikkilä
Pentti Raike, Pertti Koivistoinen, Heikki Kallio
Sihteeri: Hannu Kemppinen

Jäsenet

Jaoston jäsenmäärä oli 31. 12. 1981 232 jäsentä. Lisäys vuoden aikana oli 17 jäsentä.

Johtokunta kokoontui vuoden aikana 4 kertaa. Helsingissä 19. maaliskuuta 1982

Toimi Lukkarinen **Hannu Kemppinen**
puheenjohtaja sihteeri

TUTKIMUSVALTUUSKUNNAN TOIMINTA-KERTOMUS VUODELTA 1981

Yleistä

Toimikauden aikana on ollut käynnissä viisi kollektiiviprojektia, neljä työkomiteaa, joista yksi on yhteispohjoismainen ja viisi esiselvitystä.

Toiminnassa on keskitytty tutkimustoiminnan ohella myös tutkimustarveanalyysiin, KTS-suunnitelmaan ja tutkimusvaltuuskunnan organisaation kehittämiseen.

Tutkimusvaltuuskunnan aloitteesta toimikunnat ovat vuoden 1981 aikana suorittaneet tutkimustarveanalyysin. Analyysissa kirjattiin yhteensä 112 tutkimusaihetta. Tutkimusaiheet jakautuivat toimikuntien välille seuraavasti: geologinen toimikunta 22, kaivosteknillinen toimikunta 64 ja rikastusteknillinen toimikunta 26 aihetta. Näiden lisäksi palautteena on saatu joitakin aiheita, joita haluttaisiin saada tutkimusten kohteiksi.

Kokoonpano

Tutkimusvaltuuskuntaan kuuluu kannattavia jäsenyrityksiä 18, joilla on edustajansa (Outokumpu Oy:llä kaksi) tutkimusvaltuuskunnassa. Näiden lisäksi TV:ssa ovat edustettuina neljä jaostoa puheenjohtajiensa välityksellä. Hallituksen nimittämiä lisjäseniä ovat I. Haapala, E. V. Heiskanen ja S. Heiskanen. TV:n kokouksiin osallistuvat myös toimikuntien puheenjohtajat, VMY:n rahastonhoitaja ja TV:n sihteeri.

Tutkimusvaltuuskunnan puheenjohtajana on toiminut Heikki Paarma, varapuheenjohtajana Timo Välttilä ja sihteerinä Antti Öhberg. Kokoonpano on ollut seuraava:

Kannattava jäsenyritys ja sen varsinainen edustaja varamies suluissa)

Oy Forcit Ab, Erkki Viinamäki (Väinö Järvinen), Geotek Oy, Juha Kalla (Paavo Taanila), Imatran Voima Oy, Pentti Lehtinen (Reijo Gardemeister), Karl Forsström Ab/Oy Förby Ab, Karl Haahti (Sigvar Forsström), Kemira Oy, Kalevi Kiukkola (Ahti Mäki 12. 2. saakka, Antti Mikkonen 12. 2. alkaen), Kone Oy, Lauri Heikkilä (Alpo Maksimainen), Larox Oy, Kari Heiskanen (Harri Eronen), Oy Lohja Ab, Carl-Fredrik Bäckström (Jorma Koponen), Maa ja Vesi Oy, Antti Natukka (Esko Partio), Myllykoski

Oy/Ruskealan Marmori Oy, Matti Tyni (Lauri Koivikko) Outokumpu Oy, Timo Välttilä (Paavo Eerola), Outokumpu Oy, Pentti Seppänen (Paavo Kupias), Oy Partek Ab, Urho Valtakari (Rolf Boström), Rauma-Repola Oy, Pentti Suurmaa, Rautaruukki Oy, Heikki Paarma (Rainer Tuovinen), Suomen Malmi Oy, Pekka Mikkola (Antti Mikkonen), Tampella Oy Tamrock, Kalle Hakalehto (Paavo Hörkkö), Yhtyneet Paperitehtaat Oy, Suomen Talkki, Hannu Haveri (Jouko Olkkonen).

Geologijaosto

Reijo Saikkonen (27. 3. 81 saakka)
Kauko Puustinen (27. 3. 81 alkaen)

Kaivosjaosto

Rolf Söderström

Metallurgijaosto

Jaakko Lautjärvi

Rikastus- ja prosessiteknikan jaosto

Toimi Lukkarinen

Tutkimusvaltuuskunta ja tutkimusvaltuuskunnan työvaliokunta ovat kokoontuneet toimikauden aikana ker-

ran. Käynnissä olleet kollektiiviprojektit

- Kuivauksen automaatio
 - Näytteenottoyksikkö
 - Kuivat rikastuspiirit
 - Kaivostilojen lujuuslaskenta
 - Avolouhoksen seinämäläpisyvyyden optimointi
- Käynnissä olleet työkomiteat
- no 52 "Kairausreikien suunnan mittaus ja reikien suuntaus"
 - no 55 "Murskaus- ja rikastusprosessien asettamat tekniset olosuhdevaatimukset"
 - no 60 "Suomessa tehdyt kallion jännitystilamittaukset"

Käynnissä olleet tai aloitetut esiselvitykset

- Litogeokemiallisten malminetsintämenetelmien merkitys Suomen oloissa
 - Lohkaretietojen hyväksikäyttö malminetsinnässä
 - Kiintoaineen ja veden erotus
 - Pohjavesikysymys kalliotiloissa
 - Sähkömagneettiset poranreikämittaukset
- Yhteispohjoismaiset työkomiteat
- Reikäseismisten tutkimusmenetelmien kehittäminen.

Tutkimustoimen rahoitus

Tutkimusvaltuuskunnan juoksevat kulut on rahoitettu kannattavilta jäseniltä perityillä jäsenmaksuilla ja tutkimuslaskujen myynnistä saaduilla tuloilla.

Kollektiiviprojekteihin on toimikauden aikana käytetty yhteensä 1,58 milj. mk, josta julkisen rahoituksen osuus on 0,75 milj. mk. Työkomiteoihin ja esiselvityksiin käytettyä rahamäärää ei voida määrittää, sillä työt on suurelta osin tehty oman työn ohella. Tilinpäätös ei sisällä em. summia.

Pohjoismainen yhteistyö

Toimikauden aikana tutkimusvaltuuskunta on ensimmäistä kertaa saanut tutkimuslaskuja MinFo:lta. Pohjoismaisilta sisarjärjestöiltä saadut tutkimuslaskut ym. julkaisut ovat seuraavat:

Svenska Gruvföreningen

- Meddelande nr 155. volym 11 "Redogörelse för det nionde allmänna svenska gruvmätmötet 1980" ¹⁾
- Meddelande nr 156. volym 11 "Svenska Gruvföreningens årsmöte den 28 november 1980" ¹⁾
- Meddelande nr 157. volym 11 "Arbetsstatistik vid svenska malmgruvor" ¹⁾
- B 252 "Optimering och simulering av djupprospektering" ²⁾
- B 255 "Arbetsstyngd vid reparationer" ¹⁾
- C 85 "Gruvbrytning med isfyllning" ¹⁾

Stiftelsen Mineralteknisk Forskning (MinFo)

- Meddelande från MinFo nr 1 "Processstyrning inom mineraltekniken" ²⁾
- Meddelande från MinFo nr 2 "Processvattencirkulation", Del (1) ²⁾
- Projekt "Flotationsreagensens funktion vid processvattencirkulation", Delrapport 7 "Drittsförsök vid Faluverkens anrikningsverk" ²⁾

→ s. 68

TILASTOTIETOJA

vuoriteollisuudesta v. 1981

Ylitarkastaja Urpo J. Salo

Kaivos	Kunta	Tärkeimmät arvoaineet	Haltija	Yhteensä nostettu tn	Malmia tai hyötykiveä tn	Kaivostyöntekijöitä v. 1981 aikana			Kaivoksessa suoritettuja työtunteja	
						avolouhos	maanalla	yht.		
Malmi-kaivokset										
1. Kemi	Keminmaa	Cr	Outokumpu Oy	2 360 140	631 570	50	—	50	94 480	
2. Hitura	Nivala	Ni, Cu	—, —	2 073 188	389 166	36	2	38	63 287	
3. Mustavaara	Taivalkoski	V	Rautaruukki Oy	1 851 520	1 584 120	30	—	30	55 740	
4. Otanmäki	Vuolijoki	V, Fe, TiO ₂	—, —	1 358 600	1 313 600	—	155	155	268 176	
5. Vihanti	Vihanti	Zn, Cu, Pb	Outokumpu Oy	1 044 383	956 685	—	154	154	265 708	
6. Pyhäsalmi	Pyhäjärvi	Cu, Zn, S	—, —	974 962	853 372	—	179	179	305 923	
7. Rautuvaara	Kolari	Fe	Rautaruukki Oy	943 943	943 943	—	87	87	167 470	
8. Kotalahti	Leppävirta	Ni, Cu	Outokumpu Oy	523 434	471 035	—	102	102	173 631	
9. Hammaslahti	Pyhäselkä	Cu	—, —	477 770	406 100	—	83	83	141 349	
10. Vuonos	Outokumpu	Cu, Zn, Co	—, —	467 430	453 633	—	117	117	199 088	
11. Keretti	Outokumpu	Cu, Zn, Co, S	—, —	447 683	386 412	—	171	171	291 560	
12. Vammala	Vammala	Ni, Cu	—, —	430 018	323 938	—	49	49	84 416	
13. Luikonlahti	Kaavi	Cu, Zn, Co, S	Myllykoski Oy	426 781	394 355	—	51	51	87 167	
14. Kuervaara ja Laurinoja	Kolari	Fe	Rautaruukki Oy	382 437	275 435	9	—	9	17 160	
15. Virtasalmi	Virtasalmi	Cu	Outokumpu Oy	305 295	295 548	—	23	23	34 744	
Malmikaivokset 15 kpl				yht.	14 067 584	9 678 912	125	1 173	1 298	2 249 899
Kalkkikivi-kaivokset										
1. Parainen	Parainen	klk	Oy Partek Ab	1 789 422	1 572 955	22	5	27	51 840	
2. Tytyri	Lohja	klk	Oy Lohja Ab	864 370	864 370	—	58	58	98 392	
3. Ihalainen	Lappeenr.	klk, wol	Oy Partek Ab	845 787	845 787	19	—	19	35 531	
4. Mustio	Karjaa	klk	Oy Lohja Ab	499 299	347 488	10	—	10	18 139	
5. Äkäsjoensuu	Kolari	klk	Oy Partek Ab	264 900	264 900	6	—	6	10 000	
6. Ruokojärvi	Kerimäki	klk, dol	Ruskealan Marmorioy	246 547	234 650	2	23	25	42 790	
7. Kalkkimaa	Tornio	dol, kv	Rauma-Repola Oy	183 500	183 500	4	—	4	7 769	
8. Förby	Särkisalo	klk	K. Forsström Oy	158 391	130 991	—	34	34	64 016	
9. Siikainen	Siikainen	dol	Oy Partek Ab	143 414	112 815	3	—	3	3 660	
10. Ryytimaa	Vimpeli	dol	—, —	103 270	90 416	3	—	3	4 444	
11. Sipoo	Sipoo	klk, dol	Oy Lohja Ab	98 742	98 742	—	10	10	17 200	
12. Ankele	Virtasalmi	dol	Oy Partek Ab	61 386	58 089	3	—	3	4 930	
13. Louepalo	Tervola	dol	Lapin Marmorioy	12 380	1 630	3	—	3	5 183	
14. Juuka	Juuka	dol	Juuan Dol. kalkki Oy	6 700	6 300	1	—	1	1 280	
Kalkkikivikaivokset 14 kpl				yht.	5 278 108	4 812 633	76	130	206	365 174
Mineraali-kaivokset										
1. Siilinjärvi	Siilinjärvi	P, Klk	Kemira Oy	2 864 000	2 402 000	28	—	28	52 865	
2. Lahnaslampi	Sotkamo	Tlk, Ni	Yht. Paperitehtaat Oy	1 239 894	338 348	20	—	20	37 040	
3. Vasarakangas	Polvijärvi	Tlk, Ni	Oy Lohja Ab	444 126	176 104	3	—	3	6 034	
4. Kinahmi	Nilsjä	Kv	—, —	284 404	262 278	4	—	4	8 000	
5. Kemiö	Kemiö	Ms, Kv	—, —	173 850	155 350	5	—	5	9 393	
6. Horsmanaho*)	Polvijärvi	Tlk, Ni	—, —	92 812	75 463	—	—	—	—	
7. Repovaara	Polvijärvi	Tlk, Ni	Malmikaivos Oy	88 146	58 479	3	—	3	6 030	
8. Haapaluoma	Peräs.joki	Ms	Oy Lohja Ab	18 516	18 516	—	—	—	460	
9. Tikanmaa	Tervola	Kv	—, —	7 500	7 500	1	—	1	550	
10. Hiekkämäki	Nilsjä	Kv	—, —	7 478	7 478	—	—	—	120	
Mineraalikaivokset 10 kpl				yht.	5 220 726	3 501 516	64	—	64	120 492
Muut kaivokset; vuorivillan- ja sementinvalmistuksen kiviaineksia										
1. Sallittu	Suomusjärvi	Al, Fe, Mg	Oy Partek Ab	43 000	43 000	—	—	—	1 488	
2. Usmi	Hyvinkää	Al, Fe	—, —	42 000	42 000	—	—	—	1 340	
3. Sompujärvi	Keminmaa	Al, Fe, Mg	—, —	37 486	37 486	—	—	—	1 160	
4. Ybbernas	Parainen	Al, Fe, Mg	—, —	33 800	33 800	—	—	—	760	
5. Mikonvaara	Parikkala	Al, Fe	—, —	26 200	26 200	—	—	—	3 174	
6. Kuurmanpohja	Joutseno	Al, Fe	—, —	18 800	18 800	—	—	—	3 264	
7. Mustämäki	Lemi	Al, Fe	—, —	14 022	14 022	—	—	—	1 946	
8. Mantovaara	Sodankylä	Al	—, —	6 400	6 400	—	—	—	1 500	
Muut kaivokset 8 kpl				yht.	221 708	221 708	8	—	8	14 632
Kaikki kaivokset 47 kpl				yht.	24 788 126	18 214 769	273	1 303	1 576	2 750 197

*) tutkimusvaiheessa

Rikasteiden, metallien, mineraalien ja sementin tuotanto

	1979	1980	1981	Keskipitoisuus v. 1981
Rikasteet tonnia				
Rautarikasteita yhteensä	1 144 065	1 172 176	1 230 511	64,1
— rautarikaste ja pelletit	773 878	810 006	871 260	65,3
— pasute, purppuramalmi (Kokkola ja Siilinjärvi)	370 187	362 170	359 251	61,2
Kromirikaste, palamalmi ja valuhiekka (Cr ₂ O ₃ %) 40 %, 28,4 %, 47,1 %	434 693	340 952	412 312	
Rikkirikaste	341 967	321 797	403 352	45,8
Kuparirikaste	175 767	156 432	164 695	23,4
Ilmeniittirikaste (TiO ₂ %)	119 700	159 000	161 500	45,1
Kobolttirikaste	147 893	143 807	136 061	0,76
Sinkkirikaste	109 571	116 633	108 428	49,6
Nikkelirikaste	87 540	100 471	90 311	7,6
Lyijyrikaste	2 922	2 696	3 623	43,6
Metallit ja metallurgisia tuotteita tonnia				
Raakarauta (malmeista)	2 037 890	2 019 158	1 965 270	
Raakateräs (romusta)	340 934	319 979	367 657	
Sinkki	147 064	146 719	139 835	
Jaloteräs (aihiot)	81 669	93 225	87 209	
Ferrokromi	49 116	52 670	51 623	
Katodikupari	43 027	40 542	33 796	
Katodiinikkeli	11 460	12 807	13 310	
Vanadiinipentoksidi	4 941	5 076	5 557	
Koboltti	1 162	1 151	1 229	
Kadmium	590	581	621	
Molybdeeni	104	114	165	
Elohopea kg	46 467	74 819	67 190	
Hopea kg	31 966	44 465	37 805	
Seleeni kg	17 541	17 250	19 422	
Kulta kg	881	1 301	992	
Palladium kg	29	21	62	
Platina kg	19	7	50	
Mineraalit tonnia				
Kalkkikivi yhteensä	3 875 688	4 311 921	3 819 300	
Kalkkikiven käyttö:				
— sementin valmistus	2 339 487	2 534 331	2 416 092	
— maanparannuskalkki	801 999	1 035 871	630 590	
— kalkinpoltto	439 105	392 227	382 903	
— rouheet, tekn.hienojauheet ym.	214 691	262 032	315 009	
— sulfiitti- ja metallurginen kivi	80 406	81 728	74 706	
Talkki	267 180	317 901	307 915	
Kvartsi	216 798	236 974	255 169	
Apatiitti	2 688	137 950	200 927	
Vuorivillakivi	103 639	140 900	140 500	
Maasälpä	67 928	74 089	63 066	
Sementinvalmistuksen lisäkiveä	25 928	21 374	20 400	
Wollastoniitti	10 576	8 782	13 690	
Sementti tonnia	1 749 103	1 792 520	1 787 079	



RASKASKONENÄYTTELY

”Myrä 82”

Siilinjärvellä 4 - 6. 6. 1982

pe 14—20, la 10—18, su 10—18

Työnäytökset todellisissa olosuhteissa Kemiran kaivoksella ja Siilin Soran soranottoalueella.

Maansiirtokoneet, louhinta- ja kaivoskoneet, soran käsittelylaitteet, ajoneuvonosturit, metsäkoneet jne.

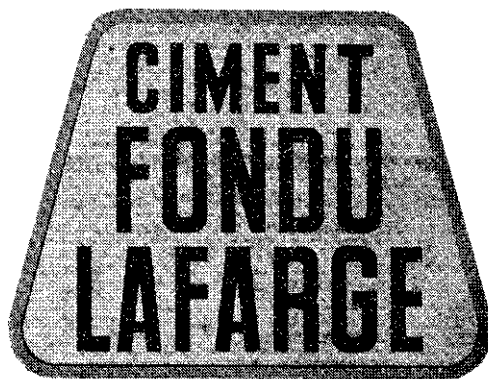
Siilinjärven Nuorkauppakamari



C I M E N T - F O N D U - L A F A R G E
-aluminaattisementtiä

A L A G - runkoainetta

S E C A R - erikoisementtiä
(kestää n. + 1800°C)



Oy VITRIFER Ab

Postiosoite PL 116
00121 Helsinki 12
Puh. vaihde (90) 661 788
Telex 121120 Wibex

on suomalainen hydraulivasara

Rammereita ostetaan

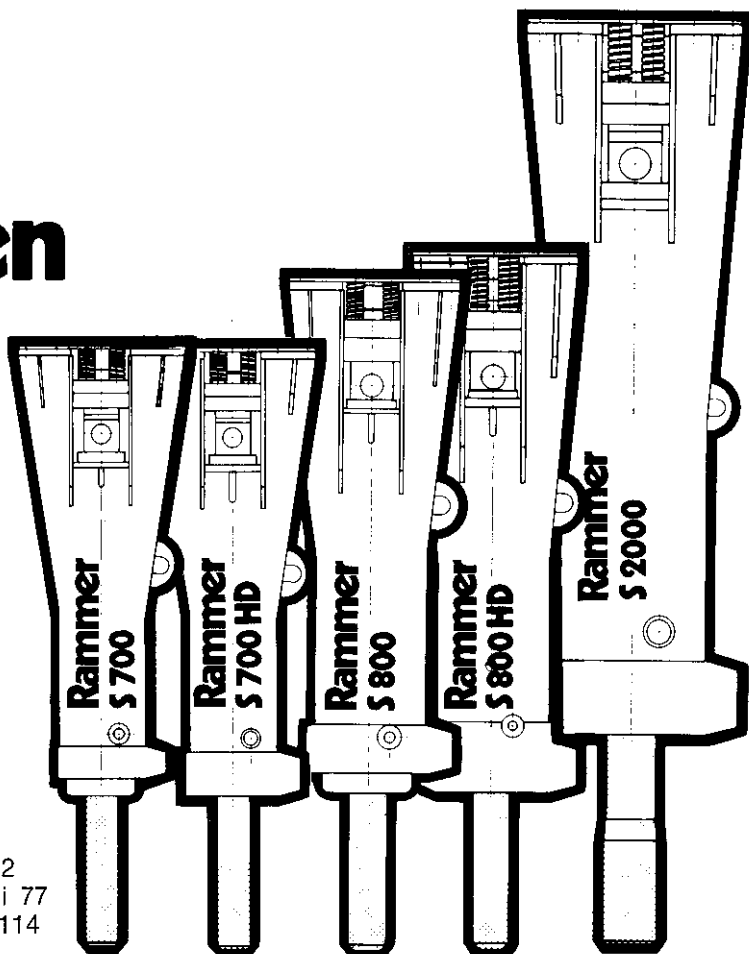
kolmesta syystä:

1. Ne toimivat varmasti.
2. Ne ovat halpoja käyttää.
3. Niiden käyttöikä on pitkä.

Rammer-vasaroita on viisi mallia. Järein, S 2000, painaa 2800 kg ja sopii 30–60 t kaivukoneisiin. Pienin, S 700, painaa 740 kg ja sopii 8–16 t kaivureihin ja kaivukoneisiin.

Rammer Oy
Taivalkatu 8
15170 Lahti 17
Puh. (918) 514 646, telex 16265

Marakon Oy
Jäähdytintie 12
00770 Helsinki 77
Puh. (90) 381 114





Syväkairaus-, iskuporaus-, moreenin- ja maanäytteenottotarvikkeita v:sta 1936

HELAKE OY

Juvan teollisuuskatu 18
02920 Espoo 92
Puh. (90) 840 044

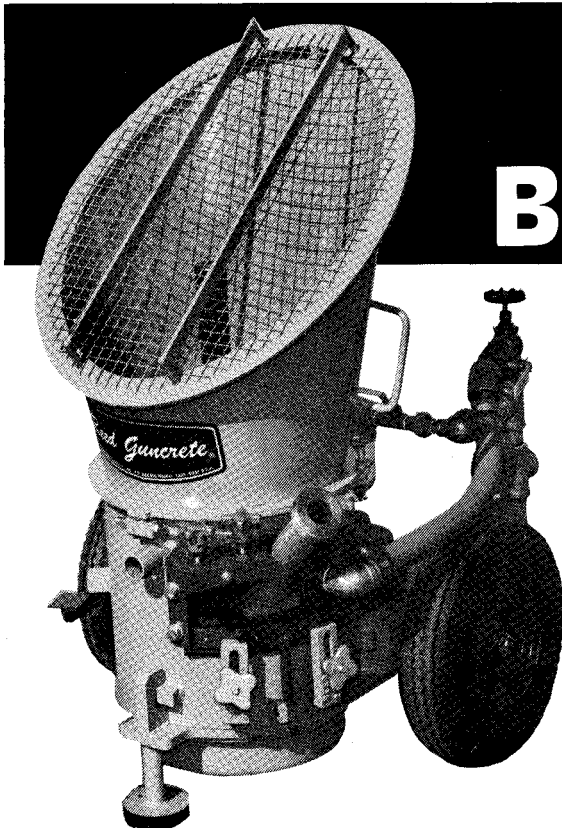
KORKEALAATUISET KALKKITUOTTEET LOUHESTA

- Poltettua kalkkia
- Teollisuushienokalkkia
- Vesilaitoskalkkia
- Rakennushienokalkkia
- Kalkkikivirouheita
- Kalkkikivifillereitä
- Dolomiittikalkkia
- Magnesiumpitoista maanviljelyskalkkia
- Kotipuutarhakalkkia



RUSKEALAN MARMORI OY

Louhen kalkkitehdas
57100 Savonlinna 10
Puh. (957) 54 151, telex 5621 MAR SF



REED BETONIRUISKU

Reed-ruisku tarjoaa kahdeksan kovaa etua:

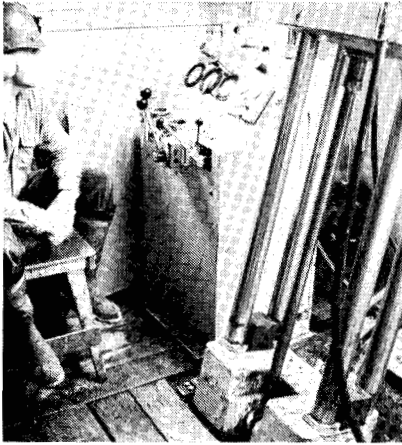
- luotettava kokonaisuus
- pienikokoinen, kevyt, helposti siirrettävä
- paineilma- tai sähkökäyttöinen
- sopii ruiskubetonimassan kuiva- ja märkä-ruiskutukseen sekä kuitumaisten aineiden ruiskutukseen
- tasainen, jatkuva materiaalivirta
- pienet pääomakustannukset
- matalat käyttökustannukset
- soveltuu mitä erilaisimpiin työkohteisiin

Yhä useampi on valinnut Reed-ruiskun tuottavaan työhön.



**REED - MARKKINOIDEN
MONIPUOLISIN RUISKU**

PL 158, 33101 Tampere 10, puh. 931-653 311



GEOTEK kairasi yli 13 kilometriä sydännäytteitä v. 1981 koti- ja ulko- maisissa työkohteissa. **Syväkairauskalustomme** rungon muodostavat luotettavat ja tehokkaat **TORAM-kairauskoneet**.

TORAM 2 x 20 työhuone

Pohjatutkimuksia ja suunnittelua nykyaikaisin menetelmin



GEOTEK OY

Valimotie 23 HELSINKI 38
puh. 90-553040

Korkealuokkaiset kairausvälineet ja -koneet toimittaa

GEOFINN^{oy}

GF

Ormuspellontie 8
00700 Helsinki 70
Puhelin 354044
Telex 12-1855

IVO
pitää pyörät
pyörimässä.

Imatran Voima Oy (IVO) on valtion omistama voimayhtiö. Teemme monipuolista työtä maan energihuollon hyväksi.

Sähköstä on tullut suomalaisen elämän perustekijöitä.

Sähkö tasoittaa alueellisia eroja.

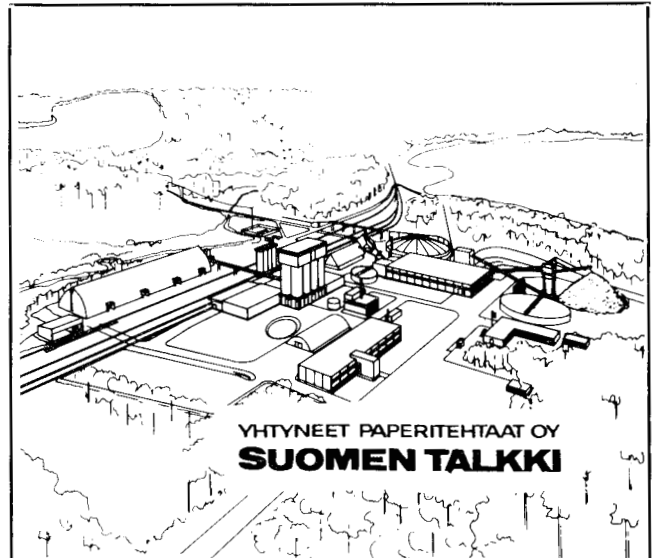
Sähkö antaa yrittäjille samat mahdollisuudet energian saannissa koko maassa.

Sähkö pitää pyörät pyörimässä.

Näissä merkeissä vietämme nyt suomalaisen sähkövoiman juhlavuotta.



IMATRAN VOIMA OY

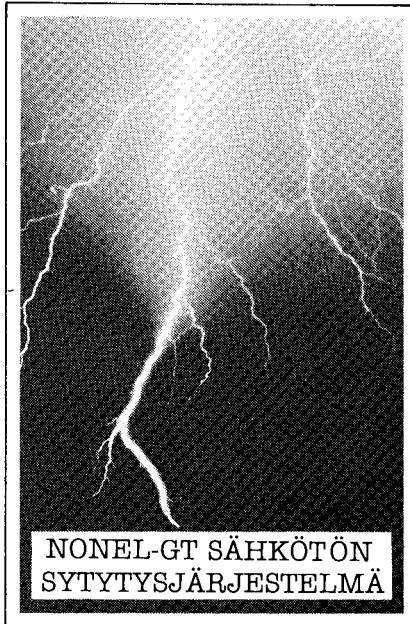


YHTYNEET PAPERITEHTAAT OY
SUOMEN TALKKI

— kainuulaisen kallioperän
jalostamista arvokkaiksi
teollisuusmineraaleiksi.

Rajaa riskit ennen kuin räjähtää!

Muun kuin sähköisen sytytysjärjestelmän käyttö räjäytyksissä on usein suotavaa. NONEL-GT on sähkötön sytytysjärjestelmä, joka eliminoi räjäytyskentällä syntyvät sähköiset vaaratekijät. NONEL-GT:tä voidaan käyttää radio/telemastojen ja voimajohtojen läheisyydessä, ukonilmalla ja ilman turvaetäisyyksiä. NONEL-GT menetelmä on yksinkertainen ja helppo käyttää. Toimintavarmuus on sama kuin sähkösytytystä käytettäessä.



Kysy NONEL-GT:tä kauppialtasi tai suoraan tehtaaltamme Vihtavuoresta. Vihtavuori on maamme monipuolisin räjähdysaineita tuottava laitos. Valmistamme itse sekä tuomme maahan tuotteita, joiden teho ja varmuus on huippuluokkaa.

KEMIRA OY
Vihtavuoren tehtaat
41330 Vihtavuori,
puh 941-771122
telex 28226 kevih

 **KEMIRA**

*) KOTIMAISET NORMET PK-AJONEUVOT TUNNELINRAKENNUS- JA KAIVOSKÄYTTÖIHIN



PK 4000 hydraulinen koripuomi

- panostukseen
- rusnaukseen
- pulttitukseen
- asennustöihin
- huolto- ja korjaustöihin



PK 6000 dumperi

- kiven kuljetukseen

Tekniset tiedot

	PK 4000	PK 6000
● Teho	63 kW	102 kW
● Nopeus	16 km/h	25 km/h
● Pituus	8900 mm	8050 mm
● Leveys	1800 mm	2000 mm
● Korkeus	2500 mm	2150 mm
● Kuorma	700 kg	7,0 m ³
● Ulottuvuus	10 m	
● Puomin kääntökulma	+20	



ORION-YHTYMÄ OY
normet
74510 Peltosalmi, Finland
puhelin — telefon 977-22241
telex 4418 farmi sf

*) Kotimaisuus on myös luotettavaa huolto- ja varaosapalvelua.



CB 420
RADEX
Radex
Qualität,
die im Feuer besteht
R

Rauta- ja terästeollisuuden vaativimmissa laitteistoissa. Metalliteollisuudessa. Sementti-, dolomiitti- ja kalkkiuuneissa sekä lasiteollisuudessa.

RADEX'in tehtävänä on juuri ratkaista näissä menetelmissä esiintyviä ongelmia.

Sekä tiilinä että tulenkestävinä massoina.

Osterreichisch-Amerikanische Magnesit AG ja Brohltal-Deumag AG ratkaisevat tulenkestävän alueen kaikki ongelmat. RADEX-laatu ja Know-How: aina muuraussuunnittelusta laitteiston käyttöön ottoon asti.

För de mest fordrande anläggningar inom järn och stålindustrin. Inom metallindustrin.

I cement-, dolomit- och kalkugnar samt i glasindustrin. RADEX är exakt inställd för sin uppgift inom de olika systemen.

I form av tegel eller som eldfast massa.

Osterreichisch-Amerikanische Magnesit AG och Brohltal-Deumag AG löser varje uppgift inom den eldfasta branschen. Med RADEX-kvalitet och Know-How: ända från planering av murningen fram till uppvärmning av anläggningen.

Oy TULENKESTÄVÄT TIILET Ab
Bulevardi 17 C 14 00120 Helsinki 12 – Bulevarden 17 C 14 00120 Helsingfors 12
Puh. 645341 Tel., Telex 12-1015

LUOTETTAVA TYÖPARI AVOLOUHOKSIIN JA MAANALAIISIIN KAIVOKSIIN

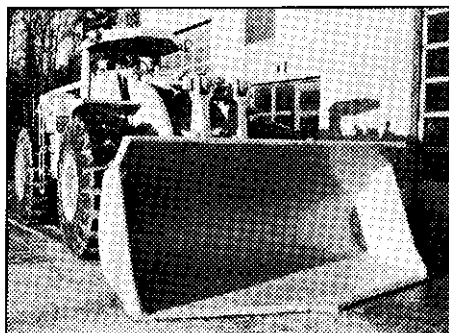


CATERPILLAR KAIVOSKUORMAAJA & DJB KAIVOSDUMPPERI

Valitse alla olevista Sinun tarkoitukseesi parhaiten soveltuva työpari:

Dumpperi

DJB D25B	(22 t)
DJB D275B	(25 t)
DJB D330B	(30 t)
DJB D35	(32 t)
DJB D350B	(32 t)
DJB D44	(40 t)
DJB D550	(50 t)



Kuormaaja

Caterpillar 966D
Caterpillar 966D tai 980C
Caterpillar 980 C
Caterpillar 980C
Caterpillar 980C tai 988B
Caterpillar 988B
Caterpillar 988B

Kysy meiltä lisää näiden työparien kapasiteetistä sekä Witraktorin CAT PLUS palveluista, jotka edelleen kohottavat sijoituksesi kokonaisarvoa.

Ota yhteys! Soita 90-826 311 / tuotepäällikkö Jukka Jalava.

 **CATERPILLAR**
MYNTI, HUOLTO & VARAOSAT

Caterpillar, Cat ja  ovat Caterpillar Tractor Co:n tavaramerkkejä.

DJB ENGINEERING LIMITED
Peterlee, Co. Durham,
England, SR8 2HX

djb

djb on D.J.B. Engineering Limited'in tavaramerkki

 **WIHURI OY**
WITRAKTOR
HELSINKI - TAMPERE - OULU - ROVANIEMI
826 311 670 200 361 344 15 271

Vuorimiesyhdistys - Bergsmannaföreningen ry:n tutkimus- ja julkaisut

Tutkimus- ja julkaisut: sarja A

	hinta
A 1 "Kulutusta kestävä materiaali"	loppunut
A 2 "Malmitekniillinen näytteenotto"	"
A 3 "Jatkotankoporaus"	"
A 4 "Öljypolttimet"	"
A 5 "Maakairaus ja pliktaus"	"
A 6 "Putket ja rännit"	20,—
A 7 "Jatkotankoporaussovellutus loushintaan"	20,—
A 8 "Jäännösanomalia- ja gradienttikarttojen käytöstä malminetsinnässä"	20,—
A 9 "Rikastamoiden jätealueiden järjestely Suomen eri kaivoksilla"	20,—
A 10 "Kuulurakenteet"	20,—
A 10b "Kuulunajoa käsittelevää kirjallisuutta"	loppunut
A 11 "Raakkulaimennus"	20,—
A 12 "Maamme vuoriteollisuuden uusimpien teollisuusrakennusten katto- ja ulkoseinäarakenteet"	56,—
A 12b Piirustusliite n:o 12:een	loppunut
A 13 "Vedenpoisto kaivoksesta"	"
A 14 "Suunnan ja kaltevuuden mittaus syväkairauksessa" (uusi kopio)	30,—
A 15 "Näytteenotto geokemiallisessa malminetsinnässä"	20,—
A 15b Kuvaliite n:o 15:een	loppunut
A 16 "Jauheiden kuivatus"	20,—
A 17 "Pölyn talteenotto"	20,—
A 18 "Geokemiallisten näytteiden käsittely ja tulosten tulkinta"	50,—
A 19 "Kulutusta kestävä materiaali" — n:o 1:n täydennys"	20,—
A 20 "Rikastamoiden instrumentointi"	20,—
A 21 "Räjähdyksineet ja räjäytysvälineet"	loppunut
A 22 "Tulenkestävät keraamiset materiaalit"	20,—
A 24 "Kaivosten ja avolouhosten geologinen kartoitus"	20,—
A 25 "Geofysikaaliset kenttätöyt I-Painovoimamittaukset"	20,—
A 27 "Kallion rakenteellisten ominaisuuksien vaikutus louhittavuuteen"	45,—
A 28 "Kalkin käyttö metallurgisessa teollisuudessa"	20,—
A 29 "Lämmön talteenotto metallurgisessa teollisuudessa"	50,—
A 31 "Pakokaasujen käsittely maanalaisissa tiloissa: Selvitys normi- ja toimenpide-ehdotuksineen"	loppunut
A 32 "Seulonta"	40,—
A 33 "Louhintaurakkasopimuksen laatimissuhteet"	20,—
"Louhintaurakkasopimuskaavake"	2,—
A 34 "Geologisten joukkonäytteiden analysointi"	50,—
A 36 "Pakokaasukomitea — selvitys tutkimustyön jatkamisedellytyksistä"	20,—
A 36b "Pakokaasukomitea — uusimpien julkaisujen sisältämät tutkimustulokset dieselmoottorien saastetuoton vähentämiseksi"	50,—
A 39 "ATK-menetelmien käyttö kallioeräkartoituksissa"	25,—
A 40 "Kaivosten jätealueet ja ympäristönsuojelu"	45,—
A 42 "Kaivosten työympäristö"	50,—
A 44 "Geologinen näytteenotto"	50,—
A 47 "Murskeen varastointi talviolosuhteissa"	40,—
A 48 "Kaivosten jätealueiden saattaminen uudeleeseen kasvullisuuden peittämiseksi"	50,—
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 olosuhteet Suomessa"	50,—
A 56 "Pölyntorjunta kaivoksissa"	50,—
A 57 "Palontorjunta kaivoksissa"	50,—
A 58 "Paikan ja suunnan määrittäminen geofysikaalisissa tutkimuksissa"	50,—
A 59 "Utveckling av seismiska metoder för geologiska och bergmekaniska undersökningar"	50,—
A 60 "Holvautumien purkumenetelmät"	50,—
A 61/I "Rakeisen materiaalin kosteuden mittaus"	50,—

A 62 "Luettelo Suomessa olevista ja tänne helposti saatavista elementtiohjelmistoista"	30,—
A 63 "Avolouhoksen seinämän kaltevuuden optimointi"	50,—
A 64 "Suomessa tehdyt kallion jännitystilannmittaukset"	50,—
A 65 "Kiintoaineen ja veden erotus" (ilmestyy alkusyksyllä)	50,—
A 66 "Pohjavesikysymys kalliotiloissa" (ilmestyy syksyllä)	50,—

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

	hinta
B 1 "Kalliomekanikan päivät 1967"	35,—
B 2 "Kalliomekanikan päivät 1968"	40,—
B 3 "Kalliomekanikan päivät 1969"	40,—
B 4 "Kalliomekanikan päivät 1970"	40,—
B 5 "Kalliomekanikan päivät 1971"	40,—
B 6 "Kalliomekanikan päivät 1972"	45,—
B 7 "Kalliomekanikan päivät 1973"	50,—
B 8 "Kalliomekanikan päivät 1974"	50,—
B 9 "Kalliomekanikan päivät 1976"	50,—
B 10 "Kalliomekanikan päivät 1977"	50,—
B 11 "Kalliomekanikan päivät 1978"	50,—
B 12 "Kalliomekanikan sanasto"	10,—
B 13 "Kaivosmiehen käsikirja"	loppunut
B 14 "Kaivossanasto"	8,—
B 15 "Räjätysopas 1978"	8,—
B 16 INSKO 106—73 "Terästen lämpökäsittelyn erikoiskysymyksiä"	45,—
B 17 " " 49—74 "Skänkmetsallurgi-Senkkametsallurgia"	45,—
B 18 " " 90—74 "Investoinnit ja käyttöolosuhteet metallurgisen teollisuuden toiminnan ohjauksessa"	45,—
B 19 " " 45—75 "Materiaalitöiden laadunvalvontakysymyksiä metalliteollisuudessa"	45,—
B 20 VMY "Kotimaiset rikastuskemikaalit"	30,—
B 21 " " "Rikastuskemikaalien käsittely-, mittaus- ja annostelumenetelmät"	30,—
B 22 " " "Kulutusta kestävä materiaali"	40,—
B 23 " " "Laatokan-Perämeren malmivyyhyke"	40,—
B 24 " " "Malminkäsittelylaitosten käyttöasteen ja kunnossapidon optimointi"	30,—
B 25 " " "Raakkulaimennus ja sen taloudellisen merkityksen kaivostaloudessa"	50,—
B 25b "Waste rock dilution and its economic significance in mining"	50,—
B 26 " " "Pientunnelisymposium"	70,—
B 27 " " "Uraaniraaka-ainesymposium"	50,—
B 28 " " "Tuuletussymposium"	50,—
B 29 " " "Kaivos- ja louhintatekniikan käsikirja"	90,—
B 30 " " "Teollisuusmineraaliseseminaari"	50,—
B 31 " " "Kaivosten työsuojelu"	50,—

Vuorimieskillan laulukirja "Taskumatti"	10,—
VMY:n solmio, värit: sininen ja viinipunainen	à 30,—
Vuoriteollisuus — Bergshanteringen lehti vuosikerta Suomessa	40,—
" " ulkomailla	50,—
Eero Mäkinen -mitali	200,—

Vuoriteollisuus-Bergshanteringen-lehden vanhempi numeroita myytävänä vuosikertojen täydennykseksi jäsenille hintaan 2:50/numero.

Julkaisuja ja lehtiä voi tilata yhdistyksen rahastonhoitajalta DI Olavi Paatsolalta mieluummin kirjallisesti osoitteella:

Vuorimiesyhdistys — Bergsmannaföreningen r.y.
Rautaruukki Oy
PL 217
90101 Oulu 10
tai puh. 981-327 711

ILMOITTAJAT — ANNONSÖRER

- Airam/Kometa
- Algol
- Ara
- Drillco
- Enso
- Forcit
- Geofinn
- Grönblom
- Helake
- Imatran Voima
- Kaukomarkkinat
- Kemira
- Kockums
- Kone
- Larox
- Lohja Oy
- Lokomo
- Maa ja Vesi
- Orion/Normet
- Outokumpu
- Ovako
- Rammer
- Raskaskonenäyttely "Myyrä"
- Rautakonttori
- Rautaruukki
- Rotator
- Ruskealan Marmori
- Skega
- Suomen Talkki
- Tallberg/Atlas Copco
- Tallberg/Vuorikoneet
- Tamrock
- Tulenkestävät Tilet
- Witraktor
- Witrifer
- Volvo
- Vuorikone

OHJEITA KIRJOITTAJILLE

Lehden painatuskustannusten pienentämiseksi ja ulkoasun yhtenäistämiseksi kirjoittajia pyydetään noudattamaan seuraavia ohjeita.

Käsikirjoitukset on kirjoitettava koneella yhdelle puolelle arkkia 2-välillä. On pyrittävä lyhyeen ja ytimekkääseen esitystapaan. Artikkelien suosittelava ensimmäispituus kuvineen, taulukkoineen ja kirjallisuusviitteineen on 5 palnosivua. Toimituksen mielestä lyhennettäviksi mahdolliset käsikirjoitukset palautetaan kirjoittajille korjausta varten. 4 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.

Kaavat ja yhtälöt on kirjoitettava selvästi ja yksinkertaiseen muotoon, mahdollisuuksien mukaan välttämällä 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 bergbaulicher Rohstoffe, Bd 1. Verlag Gronau, Jena 1953.

Jokaiselle artikkelille on ilmoitettava englanninkielinen nimi sekä laadittava kielellisesti tarkistettu englanninkielinen yhteenveto — summary — pituudeltaan enintään noin 20 konekirjoitusrivää.

Syksyllä ilmestyvään lehteen tarkoitetut artikkelit on lähetettävä toimitukselle syyskuun loppuun mennessä, kevätnumeroon tarkoitetut helmikuun loppuun mennessä.

Erilpainoksia toimitetaan kirjoittajan laskuun eri sopimuksella.

TÄYSI HYÖTY.

Mäuseri Oy



Vuoriteollisuuden tuotteiden jalostaminen vaatii monipuolisia, teknisesti viimeistelyä ja taloudellisesti toimivia laitteita. Vain siten on saatavissa täysi hyöty jalostettaessa malmi teollisuuden raaka-aineeksi.

Rauma-Repola Oy on yksi Suomen suurimmista metalliteollisuusyrityksistä. Yhtiön tuotantoon kuuluu joukko vuoriteollisuustuotannon keskeisiä laitteita: Lokomo-leuka-, kara- ja kartiomurskaimet sekä seulat ja syöttimet sekä Parkanon Konepajan valmistamat myllyt, kiekko-suotimet ja anodiunit. Niitä toimii tänä päivänä eri puolilla maailmaa – Alaskasta Filippiineille, Tokiosta Montrealiin.

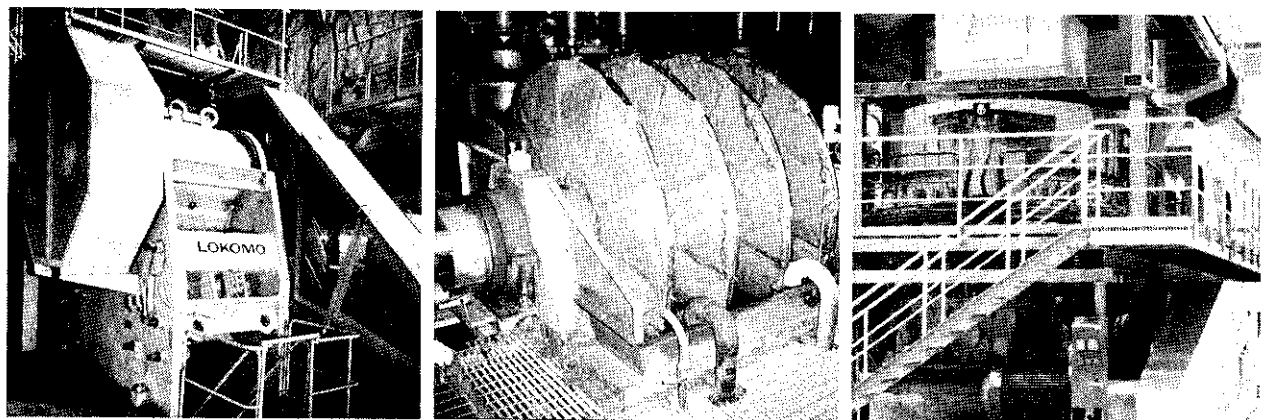
Ottakaa täysi hyöty vuoriteollisuudestanne! Soittakaa tai kirjoittakaa – se on ensimmäinen askel taloudellisiin tuotantoratkaisuihin.



RAUMA-REPOLA

Lokomon Tehtaat
PL 306
33101 TAMPERE 10
Puh. (931) 33100,
Telex 22133 rrllok sf

Parkanon Konepaja
39700 PARKANO
Puh. (933) 1151,
Telex 22156 rrpno sf





YHTEINEN TEKIJÄ

Greenex, Grönlanti
Balfour Beatty Constr., Englanti
Denison Mines, Kanada
Zinc Corporation, Australia
ABV, Ruotsi
Impregilo, Italia
Anglo American, Etelä-Afrikka
Outokumpu, Suomi
Furuholmen, Norja
Sachtleben, Länsi-Saksa
Losinger, Sveitsi
Hiero Patagonico, Argentiina

Kautta maailman, niin kaivos- kuin urakointisektorilla, ovat yhteisenä tekijänä Tamrockin täyshydrauliset kallionporauslaitteet. Maan alla työskentelee yli 250 hydraulista tunnelinajolaitettamme. Grönlannista Tulimaahan.



TAMROCK

Tamrock, 33310 Tampere 31. Puh. 931-431 411
Telex 22192 rock sf

UUSI 5350

TEHODUMPPERI



Uusi Volvo BM-dumpperi 5350 on tehty yhtä ainoaa tehtävää varten – siirtämään suuria massamääriä ja nopeasti käytännöllisesti katsoen millaisessa maastossa tahansa. Myös kuljettajan viihtyvyyteen on uudessa dumpperissa kiinnitetty erityisen suurta huomiota.

Kuormakoko ja nopeus ratkaisevat työsuorituksen

Kuormakoko on luonnollisesti tärkeä ominaisuus dumpperille. Mutta nopeus vaikuttaa vähintään yhtä paljon työsuoritteeseen varsinkin jos ajomatkat ovat hieman pidemmät. 5350 dumpperi on nopea; 50 km/h huippunopeus vaikuttaa ajoaikaan tuntuvasti, koska usein varsinkin ajoon tietosuoksilla voidaan käyttää suurta nopeutta.

Ainutlaatuinen dumpperi, jossa 4-pyöräveto on jatkuvasti kytkettynä

5350 dumpperi on ensimmäinen dumpperi ajoneuvo, jossa 4-pyöräveto on jatkuvasti kytkettynä ja kaikilla vaihteilla. Ajo on tasaista ja polttoaineenkulutus pieni. Renkaat ja ajotiet säästävät koska kaarteissa ja epätasaisissa paikoissa ei tapahdu luistoa. Dumpperin vauhtia ei tarvitse milloinkaan hidastaa 4-pyörävedon kytkennän vuoksi – riippumatta siitä millä nopeudella tai vaihteella ajetaan. Cross Country Drive kuten tätä laitetta kutsutaan, tekee dumpperin vaikeissakin maasto-olosuhteissa helposti ajettavaksi.

Suuret lavatilavuudet

Vakiolavan tilavuus on 12 m³ (kukkuramitta, ilman perälautaa). Tämä tarkoittaa 20 tonnin kuormaa. Haluttaessa suurempaa tilavuutta, voidaan lava muuntaa tarvetta vastaavaksi – enintään 16 m³ (kukkuramitta).

Jousitus on vain osa 5350 dumpperin kuljettajamukavuudesta.

Jos halutaan käyttää dumpperin ajonopeutta hyväksi, on kuljettajamukavuus sovitettava sen mukaan. Tämän vuoksi on 5350 dumpperissa sekä kaksoiskumiontelojousitus että kaksitoimiset iskunvaimentimet rungon ja etuakselin välillä. Kojelauta on mukavasti kuljettajan luettavissa, ja kaikki hallintalaitteet ovat helposti ulottuvilla. Kuljettajamukavuuteen kuuluvat myös automaattivaihteisto, istuin ja ohjaamon siinä säätöilman suodattimet.

5350 dumpperi ei menetä milloinkaan ohjattavuuttaan

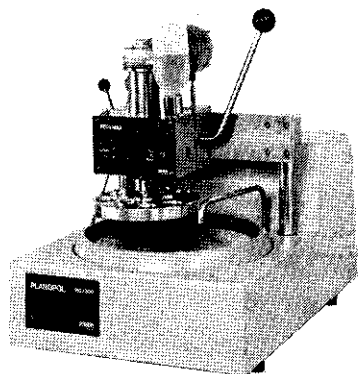
Vaikka moottori pysähtyisi, ohjauskyky säilyy. 5350 dumpperissa vetopyörät käyttävät ohjauksen nestepainepumpua – ei moottori. Niin kauan kun pyörät pyörivät säilyy myös ohjauskyky.

Ottakaa yhteys

Paras tapa tutkia mihin 5350 tehodumpperi soveltuu on luonnollisesti laskea dumpperkuljetuksen kustannukset työmaakohtaisesti. Soittakaa lähimmälle Volvo BM-edustajalle tai meille ja kertokaa kuljetuksistanne.

VOLVO BM
MAAHANTUOJA:
OY VOLVO-AUTO AB

METALLOGRAFIAAN JA MINERALOGIAAN



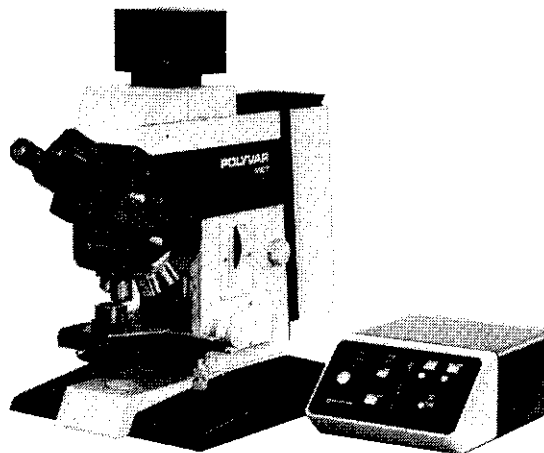
STRUERS PLANOPOL/PEDEMAX, hionta/kiillotuskone pintavalohieille.



STRUERS — käsittää täydellisen valikoiman mekaanisia, automaattisia ja elektrolyyttisiä hionta- ja kiillotuskoneita pinta- ja ohuthieille sekä tietenkin korkealaatuiset tarvikkeet näiden valmistukseen.



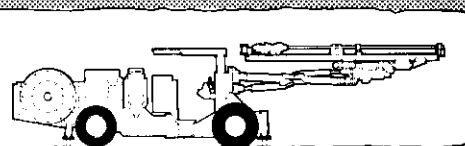
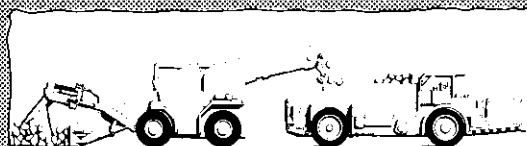
REICHERT taas vastaa siitä, että hyvin tehty hie voidaan kunnolla tutkia. Ohjelmassamme on useita vaihtoehtoja eri hintaluokissa pinta- ja läpivalo- sekä stereomikroskooppeja monipuolisilla lisälaitteilla.



REICHERT POLYVAR-MET tutkimusmikroskooppi pintavalohieille.

KAUKOMARKKINAT OY, Laboratorio-osasto, Kutojantie 4, 02630 ESPOO 63, (90) 5 211

High speed tunnelling concept Nopea tunnelinajo



Raiteeton ja raiteellinen sähköhydraulinen poraus- ja kuormauskalusto

Myös sähköhydraulinen raiteellinen louheensiirtokalusto pientunnelille.

30-50% lisää ajotehoa / 60-80% pienemmällä energiamäärällä
(tavanomaiseen kalustoon verrattuna)

TALLBERG
Atlas Copco

HÄGGLUNDS

Helsinki, Turku, Tampere, Kuopio, Kokkola

Konsulttipalveluja yli 30 vuoden kokemuksella

Päätoimialamme:

- alue- ja yhdyskuntasuunnittelu
- maankäyttö ja kartoitus
- vesitekniikka
- maa- ja vesirakennustekniikka
- teollisuus- ja talonrakennus-suunnittelu

Itälahdenkatu 2, 00210 Helsinki 21,
puh. 90-670 121

Aluetoimistot
Jyväskylä • Kuopio • Lappeenranta •
Lapua • Oulu • Turku



MAA JA VESI OY

SUOMEN KONSULTTI-TOIMISTOJEN LIITTO SKOL RY N JÄSEN

GARDNER-DENVER

— porakalustot

ILMEG

— pölynsidonta- ja
mittauslaitteet

MISSION

— uppoporakoneet

PUTZMEISTER

— ruiskutuspumput

TIMKEN

— porakruunut

DRILLCO

MÄNTSÄLÄ

Puh. 915-81024

SKEGA

SKEGA KUMISEULAVERKKO TYYPPI H

SKEGA KUMISEULAVERKKO TYYPPI H

SKEGA KUMISEULAVERKKO TYYPPI H

SKEGA KUMISEULAVERKKO TYYPPI H

SK 7 H

SKI 1 H

SK 7 H

SKI 1 H

SK 7 H

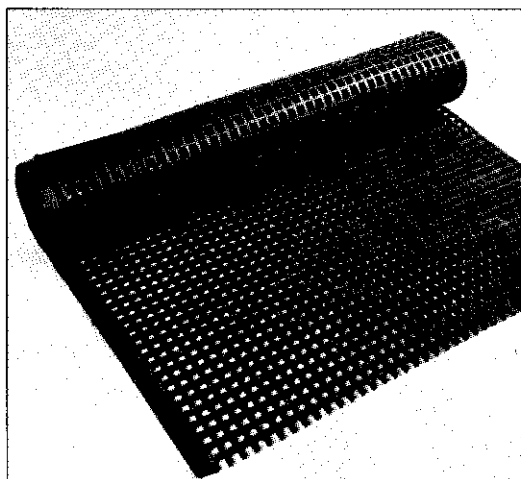
SKI 1 H

SK 7 H

SKI 1 H

SK 7 H

SKI 1 H



- Pitkä kestoikä
- Alempi melu
- Helppo asennus
- Muotissa valmistettu, parempi seulonta
- Alentaa kustannusta /tonni seulottua materiaalia

- Toimitus joko rullalla tai valmiiksi leikattuna
- Lyhyt toimitusaika
Rullatavaraa suoraan varastosta

Pyydä esite

OY SKEGA AB

Tulliportinkatu 25, 70100 Kuopio 10
Puh. 971-123 111. Telex 42-157 SKEGA SF

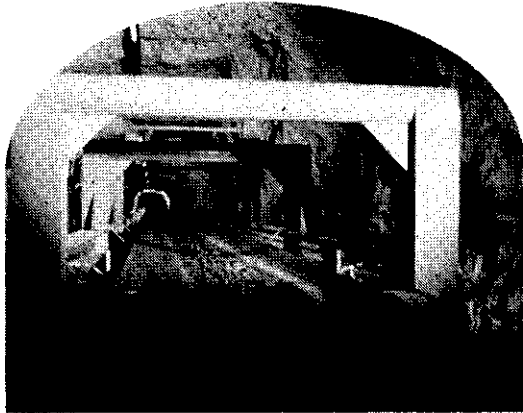
Vuoriteollisuuden suurhankkija

Asiantuntemusta

Vuoriteollisuuden tuntemus pohjautuu Algolissa vuosikymmenien perinteisiin. Pitkään kokemukseen yhdistyy tuore tekninen tieto: kansainväliset yhteytemme tuovat meille alan uusimmat saavutukset maailmalta. Kaikki tämä koituu hyödyksenne.

Edustamme tehtaita, joiden tuotteisiin on totuttu luottamaan Suomessa ja Suomen ulkopuolella: Lurgi, Mannesmann Demag, Didier; esimerkiksi. Mukaan niveltyy oman Herttoniemen konepajamme nosturituoanto, suomalaisella ammattitaidolla.

Osoittakaa ongelmanne meille, kun se liittyy vuoriteollisuuden, metallurgian tai prosessiteknikan alueille. Mielissänne voi olla yksittäinen laitetarve, laajan projektin suunnittelu tai kysymys, johon haluatte vastauksen. Olemme palveluksessanne.



Tuotevalikoimaa

Algol ja vuoriteollisuus, metallurgia, prosessiteknikka. Tuotteissa on valinnanvara:

- kaivoshissit
- hihnakuuljettimet
- nosturit
- koneistot pasutukseen
- koneistot malmien sintraukseen
- koneistot sintterin jäädyttämiseen
- tyhjiökuivausrummut
- uraanimalmin käsittelykoneistot
- tulenkestävät keraamiset aineet uunien vuoraukseen
- sähkösuodattimet

ALGOL

Eteläranta 8 ● PL 170, 00131 Helsinki 13
Puhelin (90) 176631 ● Telex 121430 algol sf

Maasälpä

Kvartsi

Talkki

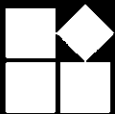
Liuskesirote

Teollisuushienokalkki

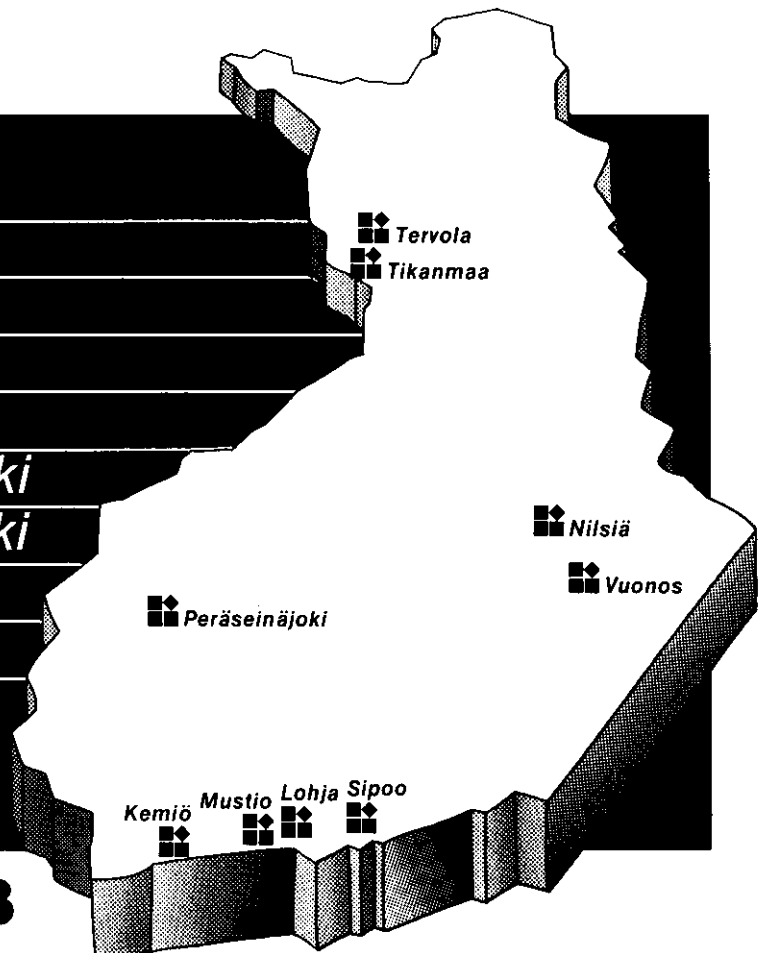
Rakennushienokalkki

Poltettu kalkki

Kalkkifilleri



OY LOHJA AB



VANKKAA TIETOA, TAITOA JA TUOTEKE-
HITYSTYÖTÄ RÄJÄHDYSAINEALALLA
VUODESTA 1893 ALKAEN

OY FORCIT AB

Louhintaan:

- Dynamiitit
- Aniitit
- A-putkipanokset
- Slurryt
- Ammoniitti

Tarkkuus- ja tarvevilouhintaan

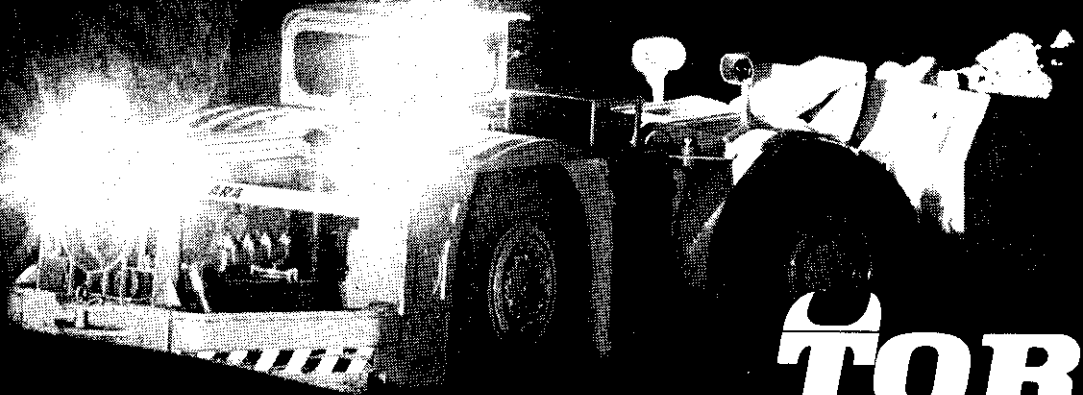
- F-Putkipanokset
- K-Putkipanokset
- KK-Putkipanokset
- A-Putkipanokset
- K-Patruuna
- Räjätävä tulilanka
- Mustaruutitulilanka

OY FORCIT AB

PL 23
10901 HANKO
Puh. 911-86 581
Telex 13240 dynam sf



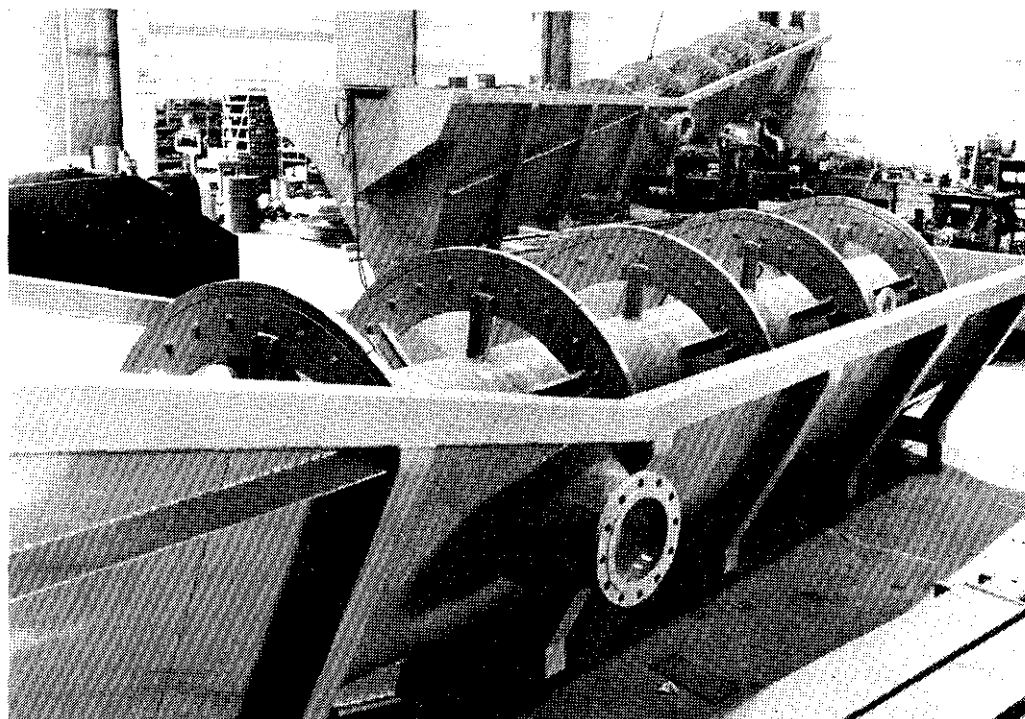
***Varma konsti päästä
kiven sisään.
Rehellisesti. Ansaitsemaan.***



TORO

Perusyhtymä Oy ARA
PL 434, 20101 Turku 10
Puh. 921-383 111
Telex 62305 ara sf

KOTIMAINEN LAROX[®] SC-RUUVILUOKITIN



- vankka rakenne
- hyvä luokitusterävyys
- halkaisijat 300...1200 mm
- asennuskulmat 15°, 16° ja 17°
- ruuvien kierteessä irrotettavat kulutuspalat Ni-hard-kovavalua
- alapäässä kartiorullalaakerit, tiivistys moninkertaisin säteisakselitiivistein
- yläpäässä uralaakereiden lisäksi erillinen painekuula-laakeri
- alennusvaihteena kierukka-tappivaihde
- ruuvien alapään nosto käsi-pyörällä tai hydraulisesti

KYSY LISÄÄ!

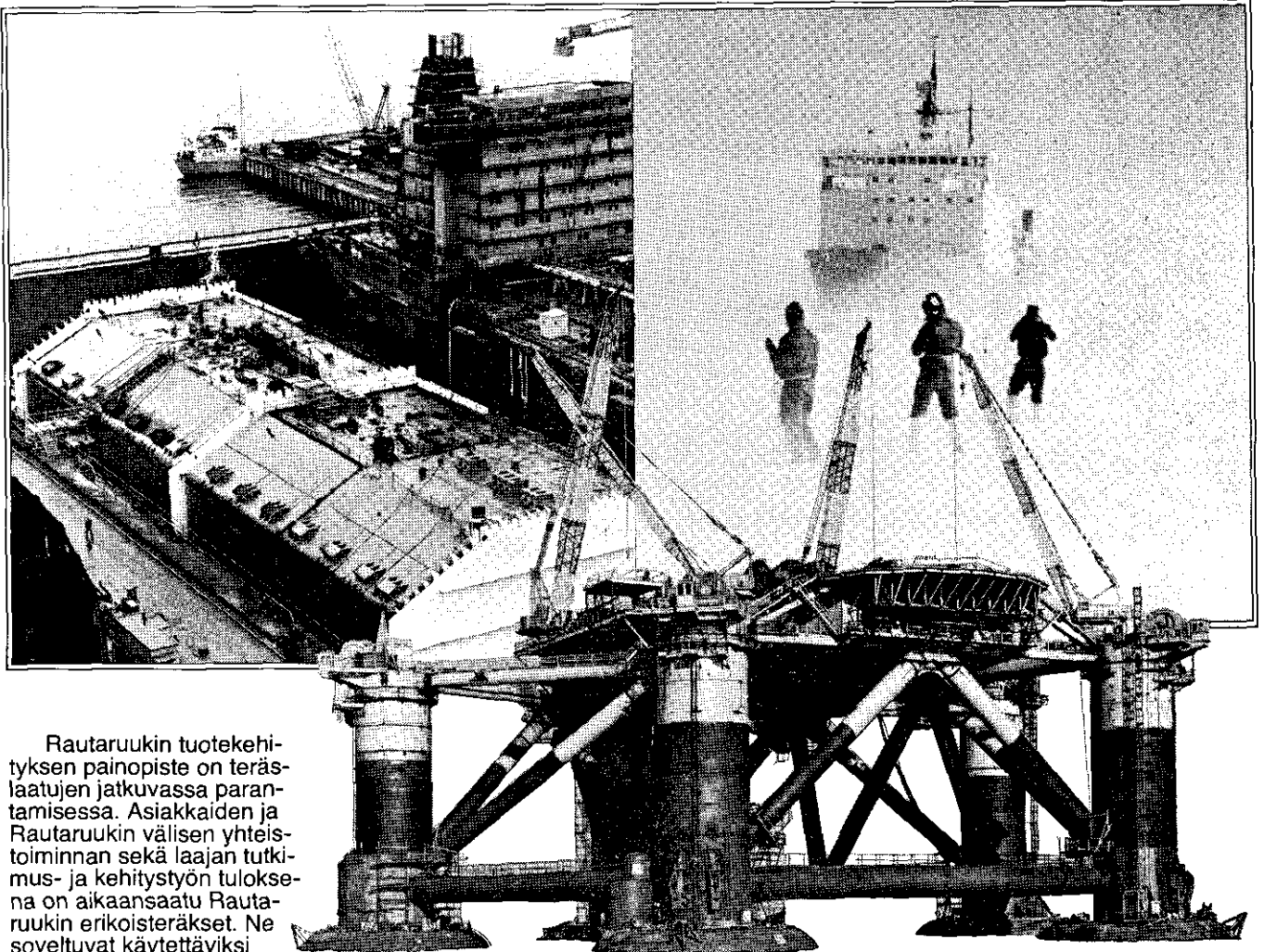
LAROX

~~—classification—concentration—~~
~~—filtration—~~

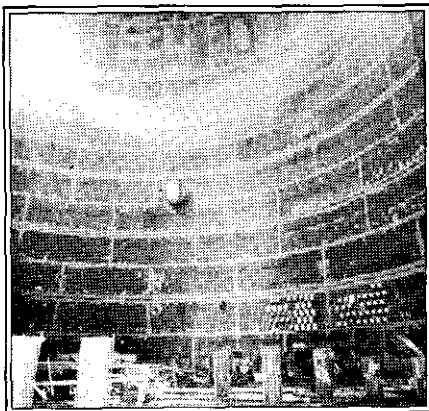
LAROX OY

Pallonkatu 10 PL 29
Lappeenranta 53101 Lappeenranta 10
Puhelin 11760 Telex 58233

Sinne, missä tavallinen teräs ei riitä.



Rautaruukin tuotekehityksen painopiste on teräslaatuojen jatkuvassa parantamisessa. Asiakkaiden ja Rautaruukin välisen yhteistoiminnan sekä laajan tutkimus- ja kehitystyön tuloksena on aikaansaatu Rautaruukin erikoisteräkset. Ne soveltuvat käytettäviksi kohteissa, joissa tavallisten terästen ominaisuudet eivät riitä.



RAEX POLAR -teräkset ovat arktisilla merialueilla toimivien jäänmurtaajien laidoituksiin kehitettyjä laivalevy-laatuja. Raex-Polar -terästen kehitystyö lähti liikkeelle Pohjoisella Jääme-

rellä toimineissa jäänmurtaajissa havaituista korroosioilmiöistä. Kehitystyön tuloksena on aikaansaatu lujia ja erikoisluonteita korroosionkestäviä teräslaatuja.

Öljynporauslautat ovat myös kohde, jossa teräkseltä vaaditaan erikoisominaisuuksia. Aikaisemmin porauslauttojen putkiyhteiden hitsauksissa esiintyi ns. lamellirepeilyä. RAEX RE -teräksissä on parannettu levyn paksuusmuutosta muodonmuutoskykyä, niin että lamellirepeilyä vältetään.

RAEX S LT -teräkset ovat erikoisluonteita paineastiateräksiä. Teräkset on tarkoitettu käytettäviksi LPG-kaasujen kuljetus-, varastointi- ja käsitte-

lylaitteisiin, joiden käyttölämpötilat ulottuvat -50°C :een.

Matalalujuuksiset RAEX-teräkset soveltuvat käytettäviksi vaikeissa hitausolosuhteissa, kylmässä ja kosteassa. Loviisa II -atomivoimalan suojakupu on yksi maailman suurimmista paineastioista. Suojakuvun valmistuksessa käytettiin RAEX 305 P -laatuja, eikä hitsausvaikeuksia esiintynyt.

Edellä olevat erikoisteräkset ovat vain osa Rautaruukin kehittämistä erikoisteräksistä. Rautaruukin korkealaatuiset erikoisteräkset osoittavat monipuolista osaamista. Kun tavallinen teräs ei riitä kysy Rautaruukin teräksiä.



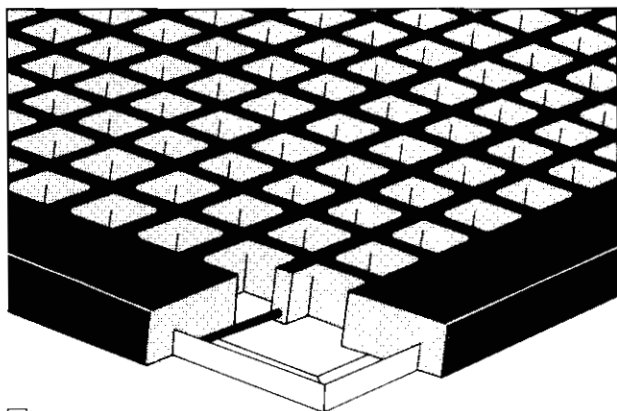
Kehitystyötä asiakkaan hyväksi.

RAUTARUUKKI OY

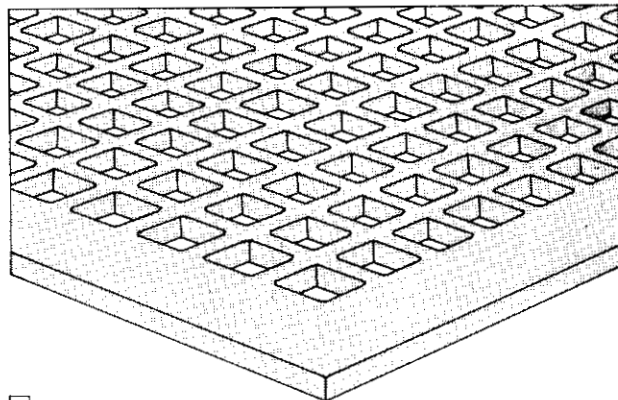
Fredrikinkatu 51 - 53, 00100 Helsinki 10
Puh. 90-601 911, Telex 124887 124590

Täydellinen valikoima kumisia ja muovisia seulakankaita

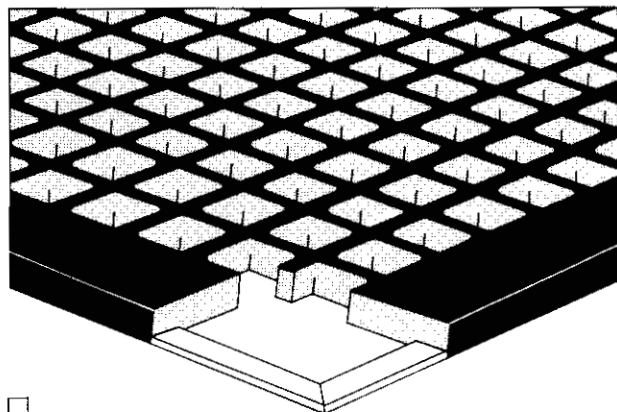
Trelleborgin joustavat seulakankaat ja seulaelementit on tarkoitettu sekä kuivaan että märkään seulontaan. Ne soveltuvat kaiken tyyppisille seuloille ja materiaaleille. Suuri valikoima lisätarvikkeita. Merkitse rasti ruutuun ja lähetä tämä ilmoitus meille niin saat paluupostissa haluamiasi lisätietoja.



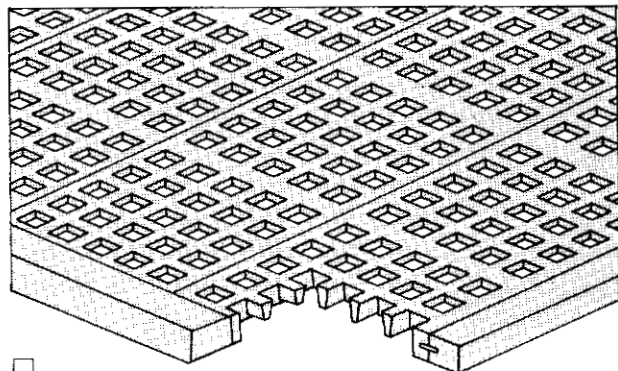
Trellflex SS karkeaseulontaan, kun raesuuruus on yli 65 mm. Kumiset seulaelementit, joissa reilu teräsvahvistus. Ei kaipaa tukirautoja.



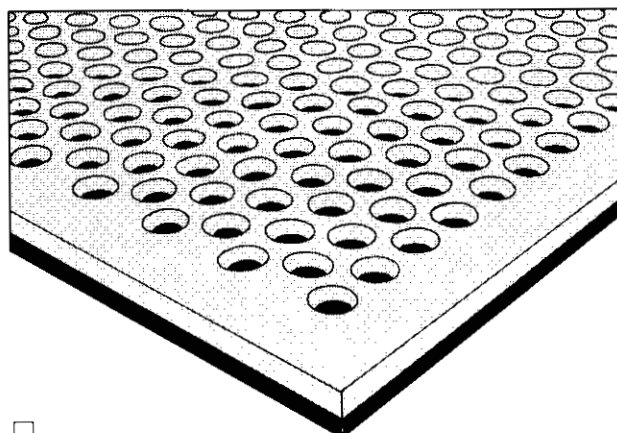
Trellan P on stansattu seulakangas hienoon ja keskihienoon seulontaan. Valmistettu polyuretaanista kudosisvahvistuksin. Takaa hienojakoisimpienkin materiaalien tarkan seulonnan.



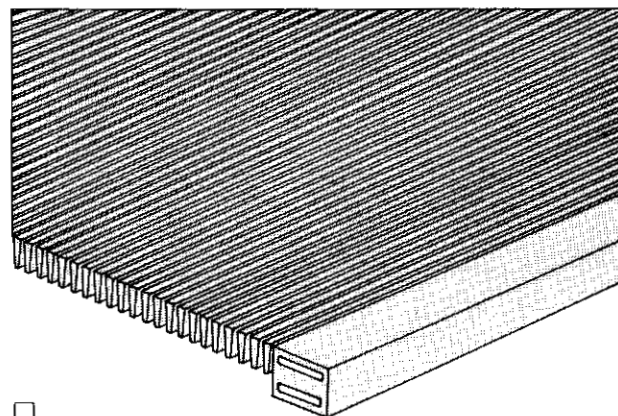
Trellflex US karkeaan ja keskiparkeaan seulontaan raesuuruksille 20–65 mm. Seulaelementit kudosisvahvisteista kumia. Teräsvahvistus ulkoreunoissa.



Trellan M, hienoon ja keskihienoon seulontaan tarkoitettuja muotoon valettuja seulaelementtejä. Valmistettu polyuretaanista. Poikkeuksellisen kestävä ja pitkäikäinen.



Trellcord-seulakankaat hienoon ja keskihienoon seulontaan. Kaksikerroksinen kumimateriaali, välissä kudosisvahvistus. Kehitetty Duenero-seulakankaista.



Trellslot, vedenpoistoon tarkoitettuja seulaelementtejä. Valmistettu polyuretaanista. Suuri ja tehokas vedenerotuspinta. Voidaan käyttää myös erittäin hienoon kuivaseulontaan.

Nimi _____

Yritys _____

Osoite _____

Puhelinnumero: _____



TALLBERG
vuorikoneet

Karapellontie 11, 02610 ESPOO 61, puh. 90-594 011

