

## Sulfaatinpelkistäjäbakteerien toimintaan perustuva leijupetiprosessi happamien metalli- ja sulfaattipitoisten jätevesien käsittelyyn

■ Tekniikan Akateemisten Liitto TEK ja Tekniska Föreningen i Finland TFiF myönsivät 7 500 euron suuruisen väitöskirjapalkinnon TKT Anna Kaksoselle ympäristöbiotekniikan alaan kuuluvasta kaivosbiotekniikan tutkimuksesta. TEKin ja TFiF:n väitöskirjapalkinto jaettiin nyt seitsemännen kerran.

Anna Kaksonen teki väitöstyönsä Tampereen teknillisen yliopiston (TTY) ympäristötekniikan osastolla, bio- ja ympäristötekniikan laitoksella aiheesta ”The Performance, Kinetics and Microbiology of Sulfidogenic Fluidized-bed Reactors Treating Acidic Metal- and Sulfate-Containing Wastewater.” Työtä ohjasi professori Jaakko Puhakka.

### Metallit talteen jätteistä mikrobien avulla

Kaksonen kehitti väitöstyössään kaivostoiminnan ja metallurgisen teollisuuden käyttöön leijupetireaktoriprosessin, jossa hapanta metalli- ja sulfaattipitoista jätevettä puhdistetaan mikrobien avulla. Puhdistus perustuu happomissa oloissa elävien sulfaattia pelkistävien mikrobien käyttöön. Sulfaatinpelkistäjiä esiintyy luonnostaan esimerkiksi merisedimenteissä sekä jätevesiviemäreissä, missä ne aiheuttavat hajuhaittoja. Bioreaktoriprosessissa nämä

mikrobit voidaan valjastaa hyötykäyttöön: sulfaatinpelkistäjät tuottavat jäteveden sulfaatista rikkiveyttä, joka saostaa metallit sulfideina. Mikrobit myös neutraloivat veden happamuutta.

Uudenlaisen bioprosessin kehittäminen edellytti poikkitieteistä lähestymistapaa: bioprosessitekniikan lisäksi käytössä oli mikrobiologia ja molekyylibiologisia menetelmiä. Modernien molekyylibiologisten menetelmien avulla osoitettiin, että jätevesien puhdistuksesta vastaa monimuotoinen mikrobiyhteisö.

### Tuloksista hyötyä kaivoksille ja metallurgiselle teollisuudelle

Kaivosvedet on perinteisesti neutraloitu kemikaaleilla ja metallit saostettu hydroksideina.

Kemiallinen käsittely on kallista ja siinä muodostuu suuria määriä vaikeasti kuivattavaa lietettä, joka täytyy loppusijoittaa jonnekin. Biologiseen sulfaatin pelkistykseen perustuvassa prosessissa metallit sen sijaan saostetaan sulfideina. Sulfidisakkoja on helpompi käsitellä kuin hydroksidilietettä. Sulfidisakoissa metallit ovat samassa muodossa kuin ovat sulfidissa malmeissa, joten metallien talteenotto ja kierrätys on helpompaa. Lisäksi metallisulfidien niukaliukuisuuden ansiosta metallien jäännöspitoisuudet käsitellyssä vedessä ovat alhaiset.

Kaksonen väitöstyössään kehittyssä leijupetireaktorissa voidaan pidättää paljon biomassaa, mikä ansiosta prosessin kuormitettavuus on korkea.

Kaksonen väitöskirjassa esitety-

tä tuloksista hyötyvät erityisesti kaivokset ja metallurginen teollisuus. Bioprosessilla voidaan ottaa metalleja talteen kaivosvesien lisäksi esimerkiksi metallien saastuttamasta pohjavedestä sekä bio- tai hydrometallurgisista prosessivesistä. Bioprosessin avulla voidaan siten vähentää ympäristökuormitusta ja puhdistaa jo pilaantuneita ympäristöjä sekä edistää metallien talteenottoa ja kierrätystä.

Kaksonen työskentelee nykyään vanhempana tutkijana TTY:n bio- ja ympäristötekniikan laitoksella kaivosbiotekniikkaan ja biologiseen vedyntuotantoon liittyvissä tutkimusprojekteissa. □



TKT Anna Kaksonen (keskellä) sai väitöskirjapalkinnon kaivosbiotekniikan tutkimuksesta. Työtä ohjasi Jaakko Puhakka. Palkinnon jakoi TEKin puheenjohtaja Merja Strengell.

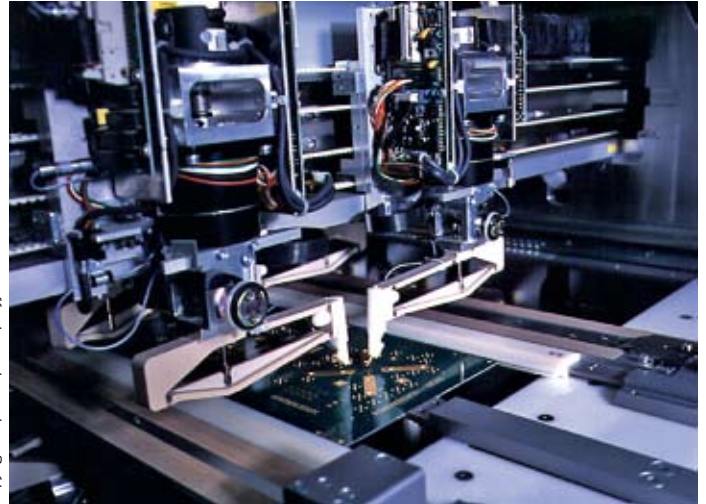
# Autokatalyyttisen nikkelpäällystysprosessin mallinnus säätötarkoituksiin

■ DI Kalle Kantola on kehittänyt diplomityössään ”Modelling of Electroless Nickel Plating Process for Control Purposes” matemaattisen prosessimallin, joka kykenee määrittelemään kriittiset laatuparametrit reaaliaikaisesti standardeista prosessimittauksista.

Kantola sai TKK:n Systeemiteknikan laboratoriossa osana Tekesin ÄLY-teknologiaohjelmaa tehdystä diplomityöstään 5 000 euron palkintosumman. Palkinnon rahoittaa Tekniikan edistämissäätiö.

Suomalainen elektroniikkateollisuus on kehittynyt jättiharppauksin viimeisten vuosien aikana. Kehitys on tuonut elektroniikan valmistusteknologialle, muun muassa piirilevyjen valmistukselle, uusia haasteita. Laatuvaatimusten ja toleranssien tiukentumisen lisäksi piirilevyihin on tullut yhä enemmän toiminnallisuksia ja niiden rakenne on muuttunut monimutkaisemmaksi. Tämän vuoksi myös piirilevyjen valmistusmenetelmät ovat murroksessa; perinteisistä operaattorikeskeisestä prosessiohjauksesta siirrytään tarkasti

ohjattuihin automaattisiin prosesseihin. Näin pyritään poistamaan operaattorikeskeisyydestä syntyvät ylimääräiset tuotantokustannukset ja lopputuotteen laatuvariaabelit. Tehokkaalla prosessiohjauksella tuotantoprosesseista voidaan tehdä joustavampia, mikä mahdollistaa yhä haastavampien tuotteiden valmistuksen. Piirilevyjen valmistuksen automatisointi on kuitenkin vaativaa, sillä valmistusprosesseissa on suurelta osin kyse monimutkaisten kemiallisten reaktioiden hyödyntämisestä ja hallinnasta. Yksi näistä reaktioista on autokatalyyttinen nikkelpinnoitus.



Copyright: Aspocomp Group Oy

Valmis piirilevy laadun tarkastuksessa Aspocomp Oyj:n Salon tehtaalla. Tässä vaiheessa kemiallisissa päällystysprosesseissa tapahtuneita virheitä ei voida enää korjata vaan virheelliset tuotteet menevät hylkyyn, mikä korostaa prosessinaikaisen laadunvalvonnan merkitystä.

Autokatalyyttinen nikkelpinnoitus on osa ENIG-pintaviimeistelyä. Pintaviimeistely on piirilevyjen valmistusprosessin viimeisin vaihe, ja sillä on suuri merkitys lopputuotteen laatuominaisuuksiin. Erityisesti autokatalyyttisen nikkeli-kerroksen paksuus ja fosforipitoisuus ovat kriittisiä tekijöitä. Valitettavasti näitä suureita ei voida mitata reaaliaikaisesti päällystysajan aikana, mikä tekee tehokkaan prosessisäädön kehittämisen haastavaksi. Ratkaisuksi säätöongelmaan Kalle Kantola on kehittänyt diplomityössään ”Modelling of Electroless Nickel Plating Process for Control Purposes” matemaattisen prosessimallin, joka kykenee estimoimaan kriittiset laatuparametrit reaaliaikaisesti standardeista prosessimittauksista kuten päällystyslämpötilasta, -ajasta, päällystettävästä pinta-alasta sekä reagenssien konsentraatioista. Diplomityö on tehty TKK:n Systeemiteknikan laboratoriossa osana Tekesin ÄLY-teknologiaohjelmaa. Diplomityön kannalta

oleellisen mittaustiedon keräämiseen on käytetty Aspocomp Oyj:n tuotantolinjaa.

Diplomityö on luonteeltaan monitieteellinen, siinä sovelletaan elektrokemian, matematiikkaa ja säätötekniikkaa.

## Malli rakentuu kahden teorian varaan

Kantolan malli perustuu elektrokemialliseen reaktiomekaniikkiin sekä ns. sekapotentialiteoriaan. Näiden kahden teorian varaan Kantola on onnistunut rakentamaan mallin, jonka tuottamia reaaliaikaisia estimaatteja voidaan käyttää edelleen mallipohjaisen prosessisäädössä.

Diplomityössä mallin tarkkuus on arvioitu vertaamalla mallin ennustamia arvoja jälkikäteen mitattuihin arvoihin. Tutkitun prosessin kompleksisuuden ansiosta voidaan saavutettua tarkkuutta pitää erittäin hyvänä. Erityisesti kriittiset parametrit, kuten nikkeli-kerroksen paksuus ja sen fosforipitoisuus, kyetään estimoimaan tarkas-



Antonin Hailes

Diplomityöstään palkitun Kalle Kantolan (oik.) vierellä hymyilee valvojana toiminut professori Heikki Koivo.

■ Suomen Matemaatikko-, Fyysikko- ja Tietojenkäsittelytieteilijäliiton (SMFL) Pro gradu -palkinto myönnettiin **Yogesh Nuckchadylle** hänen työstään ”A framework for building collaborative applications.” Palkintosumma on 2 000 euroa.

ti. Lisäksi mallin avulla voidaan laskea sivutuotteiden reaaliaikaiset konsentraatiot sekä erilaisia elektrokemiallisia parametreja, joita voidaan käyttää hyväksi prosessin hallinnassa. Täten kehitetty malli luo hyvän lähtökohdan tulevalle säätösuunnittelulle, jossa arvioinnin perusteella voidaan laskea prosessille optimaaliset olosuhteet.

### Taloudellisesti ja ympäristön kannalta merkittävää

Piirilevyn päällystyksen onnistumisella on suuri taloudellinen merkitys, sillä prosessin aikana mahdollisesti tapahtunutta virhettä ei voida enää jälkikäteen korjata vaan koko viallinen erä täytyy hylätä. Tehokas prosessien hallinta lisää myös kemikaalikyöpyjen käyttöikä, jolloin tuotannon luontoa kuormittava vaikutus vähenee. On siis tärkeää turvata päällysteen laatu jo prosessin aikana. Koska kehitetty prosessimalli on rakenteeltaan yleinen, sitä voidaan pienin muutoksin soveltaa muihin samankaltaisiin päällystysprosesseihin. Näin diplomityö luo pohjan useiden pinnoitusprosessien hallitsemiseksi.

Kalle Kantolan työtä ohjasi D.Sc. **Robert Tenno** (TKK Systeemitieteiden laitos). Valvojina toimivat professori **Heikki Koivo** (TKK Systeemitieteiden laitos) sekä professori **Mauri Airila** (TKK Koneen suunnittelun laboratorio). □

## Yhteistoiminnallisten tietokonesovellusten rakentaminen



Yogesh Nuckchadyn palkitun työn tuloksia on raportoitu jo kansainvälisessä tiedetapahtumassa.

**T**ampereen yliopiston tietojenkäsittelytieteiden laitokselle tehdyssä tutkielmassaan Yogesh Nuckchady käsittelee yhteistoiminnallisten tietokonesovellusten rakentamista. Hän esittelee työssään tapoja, joilla ohjelmat voivat kommunikoida Internetissä.

Työ antaa selkeän kuvan internetin mahdollisuuksista yhteistyömuotojen kehittämisessä. Tutkielmassa on keskitytty erityisesti Java-kielen mahdollisuuksiin. Nuckchady paneutuu myös yh-

teistoiminnallisten sovellusten rakentamiseen liittyviin ongelmiin, erityisesti samanaikaisuuden hallintaan siten, että sovellusten suorituskyky pysyy käytännössä riittävänä.

Ongelmanasettelunsa pohjalta Nuckchady on laatinut mallin, jonka mukaan tällaisia sovelluksia voi toteuttaa. Malli sisältää erilaisia ja eritasoisia palveluita, kuten hallinnointi-, data- ja näkymätason palvelut sekä ns. pääpalvelun.

Käytännön tulosten valossa mal-

lin suorituskyky näyttää varsin riittävältä muun muassa yhteistoiminnallisten graafisten editoreiden rakentamiseen. Nuckchadyn työn tuloksia on raportoitu myös kansainvälisessä tieteellisessä tapahtumassa.

Yogesh Nuckchadyn työtä ohjasi professori **Jyrki Nummenmaa**, valvojana toimi professori **Erkki Mäkinen**. □