



# METSÄ, YMPÄRISTÖ JA ENERGIA

Soveltavaa tutkimusta ja tuotekehitystä  
Vuosijulkaisu 2017

Hanne Soininen & Lasse Pulkkinen (toim.)



Kaakkois-Suomen  
ammattikorkeakoulu

Hanne Soininen & Lasse Pulkkinen (toim.)

# METSÄ, YMPÄRISTÖ JA ENERGIA

SOVELTAVAA TUTKIMUSTA JA TUOTEKEHITYSTÄ

VUOSIJULKAISU 2017



ETELÄ-SAVON  
MAAKUNTALIITTO

Vipuvoimaa  
EU:lta  
2014–2020



XAMK KEHITTÄÄ 28

KAAKKOIS-SUOMEN AMMATTIKORKEAKOULU  
MIKKELI 2017

© Tekijät ja Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu

Kannen kuva: Lasse Pulkkinen

Taitto ja paino: Grano Oy

ISBN: 978-952-344-052-4 (nid.)

ISBN: 978-952-344-053-1 (PDF)

ISSN: 2489-2467 (nid.)

ISSN: 2489-3102 (verkkójulkaisu)

[julkaisut\(a\)xamk.fi](mailto:julkaisut(a)xamk.fi)

# LUKIJALLE

Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu (Xamk) aloitti toimintansa vuoden 2017 alussa, kun Kymenlaakson ammattikorkeakoulu ja Mikkelin ammattikorkeakoulu yhdistyivät. Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulun toiminta-alueina ovat Etelä-Savo ja Kymenlaakso, joissa sillä on vahva aluekehittäjän rooli. TKI-toiminnalla tuotetaan uutta tutkimustietoa, uusia menetelmiä, tuotteita sekä palveluita tunnistettujen, työelämästä ja liiketoiminnasta nousevien tutkimus- ja kehittämistarpeiden pohjalta. Tutkimusyhteistyötä tehdään yritysten, järjestöjen, julkisyhteisöjen, yliopistojen, ammattikorkeakoulujen ja tutkimuslaitosten kanssa sekä kansallisella että kansainvälisellä tasolla.

Vuoden 2017 Metsä, ympäristö ja energia – soveltavaa tutkimusta ja tuotekehitystä -julkaisuun on koottu Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulun Metsä, ympäristö ja energia -vahuusalan tutkimus- ja kehittämistoiminnasta kertovia artikkeleita. Alueiden vahvuuksiin ja tulevaisuuden mahdollisuuksiin keskittyvä soveltava tutkimus- ja kehitystoiminta edistää uudella tiedolla Etelä-Savon ja Kymenlaakson aluekehitystä sen keskeisillä toimialoilla.

Artikkeliteoksessa esitellään TKI-toiminnan vuoden 2017 tuloksia, joita on saavutettu niin hanketoiminnassa kuin osaamisen kehittämisessä. Artikkeleissa käsitellään muun muassa ympäristöturvallisuutta ja yritystoimintaa edistäviä ja uusien teknologisten ratkaisujen käyttöönottoon liittyviä teemoja. Uusia biopohjaisia materiaaleja tuottavat prosessit sekä ympäristöturvallisuutta parantavat ratkaisut ovat tärkeä osa painoalalla toteutettavaa tutkimus- ja kehitystoimintaa. Kiertotalous, energia- ja resurssitehokkuus sekä uusien teknologioiden soveltaminen ja kehittäminen ovat kasvavassa roolissa Xamkin TKI-toiminnassa ja näitä aiheita käsitellään myös useassa artikkelissa.

Tämän artikkeliteoksen toinen toimittaja työskentelee ”Metsä ja ympäristö – Puhdas ja älykäs tulevaisuus” -hankkeessa. Hanketta rahoittaa Etelä-Savon maakuntaliitto Euroopan aluekehitysrahastosta. Toimittajista toinen työskentelee tutkimusjohtajana Xamkissa. Tekijät kiittävät hankkeiden ja opinnäytetöiden rahoittajia ja yhteistyökumppaneita yhteisen TKI-toiminnan mahdollistamisesta.

Mikkelissä 8.12.2017

*Tekijät*



## TEKIJÄT

**ANNI ANTTILA**, insinööri, projektipäällikkö

Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu, Logistiikka ja merenkulku -vahvuusala

**ELMAR BERNHARDT**, ins. (AMK), testaus- ja suunnittelupäällikkö

Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu, Metsä, ympäristö ja energia -vahvuusala

**KATJA FORSELL**, ympäristötekniikan insinööriopiskelija (AMK)

**ANNE GANGO**, DI, projektipäällikkö

Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu, Metsä, ympäristö ja energia -vahvuusala

**KIMMO HAAPEA**, KTM, kehityspäällikkö

Mikkelin kehitysytö Miksei Oy

**AULI HAAPIAINEN-LIIKANEN**, LVI-insinööri, kaukolämpöpäällikkö

Etelä-Savon Energia Oy

**NOORA HAATANEN**, DI, projektipäällikkö

Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu, Metsä, ympäristö ja energia -vahvuusala

**ESA HANNUS**, insinööri (AMK), TKI-asiantuntija

Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu, Digitaalinen talous -vahvuusala

**ANNI HARJU**, FT, dos., erikoistutkija

Luonnonvarakeskus

**ELINA HAVIA**, DI, tutkimuspäällikkö

Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu, Metsä, ympäristö ja energia -vahvuusala

**LAURI HEIKKILÄ**, energiatekniikan insinööriopiskelija (AMK), projektityöntekijä

Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu, Metsä, ympäristö ja energia -vahvuusala

**JUSSI HEINIMÖ**, TkT, ohjelmajohtaja

Mikkelin kehitysytö Miksei Oy

**MIKKO HOKKANEN**, DI, projektipäällikkö

Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu, Metsä, ympäristö ja energia -vahvuusala

**YRJÖ HILTUNEN**, FT, tutkimuspäällikkö

Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu, Metsä, ympäristö ja energia  
-vahvuusala

**SEPPO IMMONEN**, Ins. (AMK), Vanhempi suunnittelija, automaatio  
Pöyry Finland Oy, Finland

**PETRI JANHUNEN**, ohjelmistotekniikan insinööri, it-asiantuntija  
Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu, Digitaalinen talous -vahvuusala

**SAMI KAIPAINEN**, ympäristötekniikan insinööri (AMK), verkostopäällikkö  
Mikkelin Vesilaitos

**VILLE KAKKONEN**, DI, projektipäällikkö  
Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu, Metsä, ympäristö ja energia  
-vahvuusala

**EMMI KALLIO**, DI, TKI-asiantuntija  
Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu, Metsä, ympäristö ja energia  
-vahvuusala

**JANNE KANKKUNEN**, DI, suunnittelija  
Geologian tutkimuskeskus

**TOMMI KARHINEN**, ympäristötekniikan insinööriopiskelija (AMK)

**HARRI KARHU**, DI, tuotantopäällikkö  
Suur-Savon Sähkö Oy

**TERO KARTTUNEN**, DI, tutkimusinsinööri  
Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu, Metsä, ympäristö ja energia  
-vahvuusala

**TUOMO KAUHA**, FM, kehittämisspäällikkö  
Kouvola Innovation

**EEVA KOIVULA**, MMM, lehtori, projektipäällikkö  
Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu, Matkailu-, ravitsemis- ja nuorisola

**PENTTI KORVALA**, Ins. (AMK), Voimalaitospäällikkö  
Vatajankosken Sähkö Oy

**MARKKU KUOSA**, TkT, TKI-asiantuntija  
Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu, Metsä, ympäristö ja energia  
-vahvuusala

**RIKU KOPRA**, TkT, TKI-asiantuntija

Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu, Metsä, ympäristö ja energia  
-vahvuusala

**RAUNO KOUSA**, mti (AMK), projektipäällikkö

Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu, Metsä, ympäristö ja energia  
-vahvuusala

**EVELIINA KUOKKANEN**, DI, tutkimusinsinööri

Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu, Metsä, ympäristö ja energia  
-vahvuusala

**SAULI KUPARINEN**, sähkövoimateknikko, tekninen myyntipäällikkö

Lumme Energia Oy

**JARI KÄYHKÖ**, TkT, TKI-asiantuntija

Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu, Metsä, ympäristö ja energia  
-vahvuusala

**NIINA LAURILA**, ins. (AMK), projektipäällikkö

Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu, Metsä, ympäristö ja energia  
-vahvuusala

**MARJATTA LEHESVAARA**, FM, lehtori

Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu, Metsätalouden ja  
ympäristötekniikan koulutusyksikkö

**HANNU LEINONEN**, ins., tehtaanjohtaja

Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu, Metsä, ympäristö ja energia  
-vahvuusala

**MINNA LINDROOS**, insinööri, TKI-asiantuntija

Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu, Logistiikka ja merenkulku  
-vahvuusala

**TEIJO LINNANEN**, DI, projektitutkija

Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu, Metsä, ympäristö ja energia  
-vahvuusala

**MIKA LIUKKONEN**, FT, tutkijatohtori

Itä-Suomen yliopisto

**HENNA LÖNNFORS**, ympäristötekniikan insinööriopiskelija (AMK)



**VUOKKO MALK**, FM, projektipäällikkö

Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu, Metsä, ympäristö ja energia  
-vahvuusala

**MIRA MARKOVAARA-KOIVISTO**, DI, geologi

Geologian tutkimuskeskus

**HENRI MONTONEN**, DI, tutkimusinsinööri

Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu, Metsä, ympäristö ja energia  
-vahvuusala

**HEIKKI MUTIKAINEN**, DI, T&K insinööri

Andritz Oy

**AKI MYKKÄNEN**, ympäristötekniikan insinööriopiskelija (AMK),  
projektiharjoittelija

Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu, Metsä, ympäristö ja energia  
-vahvuusala

**MERJA MÄKELÄ**, TkL, yliopettaja

Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu, Energia- ja ympäristötekniikka,  
automaatio

**EKATERINA NIKOLSKAYA**, DI, projektitutkija

Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu, Metsä, ympäristö ja energia  
-vahvuusala

**OLLI PAAJANEN**, DI, projektipäällikkö

Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu, Metsä, ympäristö ja energia  
-vahvuusala

**PASI PAKKALA**, MML, MH, yliopettaja

Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu, Metsätalouden ja  
ympäristötekniikan koulutusyksikkö

**SAULI PALONIITTY**, toimitusjohtaja

Paloniitty Oy

**JUKKA PARTANEN**, toimitusjohtaja

Järvi-Saimaan Palvelut Oy

**JUHO PEURA**, ins. (AMK), projektipäällikkö

Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu, Metsä, ympäristö ja energia  
-vahvuusala

**HENRIKKI PIESKÄ**, DI, projektityöntekijä

Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu, Metsä, ympäristö ja energia  
-vahvuusala

**HANNU POUTIAINEN**, FT, lehtori

Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu, Metsätalouden ja  
ympäristötekniikan koulutusyksikkö

**LASSE PULKKINEN**, FT, tutkimusjohtaja

Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu, Metsä, ympäristö ja energia  
-vahvuusala

**TUIJA RANTA-KORHONEN**, FM, insinööri (AMK), TKI-asiantuntija

Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu, Metsä, ympäristö ja energia  
-vahvuusala

**VILLE RÄTY**, ins., asiantuntija

Kouvola Innovation

**KARRI SAARINEN**, talotekniikan insinööriopiskelija (AMK)

**TIINA SAARIO**, DI, tutkimusinsinööri

Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu, Metsä, ympäristö ja energia  
-vahvuusala

**HANNU SALMI**, toimitusjohtaja

Benetech Finland Oy

**HANNE SOININEN**, DI, tutkimuspäällikkö

Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu, Metsä, ympäristö ja energia  
-vahvuusala

**JUHA SOLIO**, laitosvastaava

Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu, Metsä, ympäristö ja energia  
-vahvuusala

**ANNI SUUTARI**, talotekniikan insinööriopiskelija (AMK)

**HEIKKI SÄRKKÄ**, TkT, projektipäällikkö

Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu, Metsä, ympäristö ja energia  
-vahvuusala

**KIRSI TALLINEN**, DI, tutkimuspäällikkö

Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu, Metsä, ympäristö ja energia  
-vahvuusala

**RIIKKA TANSKANEN**, DI, projektipäällikkö

Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu, Metsä, ympäristö ja energia  
-vahvuusala

**SALLA THIL**, ins. (AMK), tutkimusinsinööri

Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu, Metsä, ympäristö ja energia  
-vahvuusala

**HEIKKI TIRKKONEN**, DI, liiketoimintajohtaja

Suur-Savon Sähkö Oy, Energian tuotanto

**ERJA TULINIEMI**, ins.(AMK), projektipäällikkö

Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu, Metsä, ympäristö ja energia  
-vahvuusala

**RIINA TUOMINEN**, insinööri (ylempi AMK), projektipäällikkö

Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu, Metsä, ympäristö ja energia  
-vahvuusala

**HANNU TURUNEN**, DI, projektipäällikkö

Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu, Metsä, ympäristö ja energia  
-vahvuusala

**JUHANI TURUNEN**, TkL, TKI-asiantuntija

Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu, Metsä, ympäristö ja energia  
-vahvuusala

**ANNU VASTELA**, talotekniikan insinööriopiskelija (AMK)

# SISÄLTÖ

LUKIJALLE.....	3
TEKIJÄT .....	5
TULOSELLISTA KAAKKOIS-SUOMALAISTA TUTKIMUS- JA KEHITYSTOIMINTAA ELINKEINOELÄMÄLLE – TUTKIMUSTA YLI RAJOJEN .....	15
Hanne Soininen & Lasse Pulkkinen	
VOC-ONLINE-HANKKEELLA TERVEELLISEMPÄÄ SISÄILMAA.....	19
Tuija Ranta-Korhonen & Hanne Soininen	
VOC-ONLINE-HANKKEESSA TUTKITAAN JÄRVI-SAIMAAN PALVELUT OY:N OSAKASKUNTIEN OMISTAMIEN KIIINTEISTÖJEN SISÄILMAA.....	23
Tuija Ranta-Korhonen & Salla Thil & Jukka Partanen	
SISÄILMAN VOC-YHDISTEET JA NIIDEN MITTAAMINEN .....	31
Salla Thil & Tuija Ranta-Korhonen & Hannu Salmi & Sauli Paloniitty	
BIOHIILELLÄ PUHTAAMPI YMPÄRISTÖ JA UUTTA LIIKETOIMINTAA.....	39
Niina Laurila & Jussi Heinimö & Hanne Soininen	
ETEVÄT-HANKKEELLA ENERGIATEHOKKUUTTA JA KUSTANNUSSÄÄSTÖJÄ ETELÄSAVOLAIISIIN PK-YRITYKSIIN .....	44
Riikka Tanskanen & Auli Haapainen-Liikanen & Sauli Kuparinen	
VUOTOVESIEN HAVAINNOINTI JÄTEVEDEN JOHTOKYKY- JA LÄMPÖTILAMITTAUKSIN.....	48
Riina Tuominen & Sami Kaipainen	
MATKAILUN HIILIJALANJÄLKI.....	56
Riina Tuominen & Eeva Koivula	
KAATOPAikkojen MALLINNUKSEN PAIKKATIE TOISESTI.....	61
Esa Hannus & Mira Markovaara-Koivisto & Heikki Särkkä	
RADIOTAAJUUSTUNNISTUS JA MUUT SOVELTUVAT TEKNIIKAT JÄTTEENKERÄYKSEN APUVÄLINEINÄ .....	67
Petri Janhunen & Heikki Särkkä	

MBR-LIETTEEN JA MAATALOUDEN SIVUAINEVIRTOJEN BIOKAASUN- JA METAANINTUOTTO POTENTIALIT JATKUVATOIMISISSA REAKTOREISSA.....	72
Heikki Särkkä & Vuokko Malk & Tiina Saario & Aki Mykkänen & Hanne Soininen	
HAITTA-AINEIDEN VAIKUTUS BIOKAASUN TUOTANTOON .....	78
Marjatta Lehesvaara & Tommi Karhinen	
KEMIKAALIT KIEROTALOUDESSA .....	87
Marjatta Lehesvaara	
LÄÄKEAINEIDEN JA ANTIMIKROBISTEN AINEIDEN VÄHENTÄMINEN MBR-LIETTEESTÄ.....	93
Marjatta Lehesvaara & Katja Forsell & Henna Lönnfors	
HEVOSENLANNAN POLTON SIVUTUOTTEINA SAATAVIEN TUHKIEN KÄYTTÖMAHDOLLISUUDET LANNOITTEINA .....	98
Riikka Tanskanen & Hanne Soininen & Heikki Tirkkonen & Harri Karhu	
JÄTEVEDENPUHDISTAMON BSM-SIMULOINTISTANDARDIT JA NIIDEN HYÖDYNTÄMINEN.....	103
Hannu Poutiainen	
SAHATAVARAN LÄMPÖKÄSITTELY KORKEASSA HÖYRYNPAINEESSA.....	106
Olli Paajanen & Juho Peura	
KESTÄVÄ PUUJULKISIVU HIILTÄMÄLLÄ - PINTAMOD .....	113
Hannu Turunen	
PALOSUOJATTUJEN PUUVIILUJEN OMINAISUUKSIEN TUTKIMINEN .....	122
Olli Paajanen	
PK-YRITYSTEN TIETOTURVAN TESTAAMINEN HACKATHONISSA.....	128
Mikko Hokkanen & Kimmo Haapea	
PURE SHEAR -KOEKAPPALEEN SÄRÖNKASVUTESTIT - TESTAUSTAVAN VAIKUTUKSISTA .....	133
Tero Karttunen	
DIGITALO-HANKE MIKKELIN ASUNTOMESSUILLA KESÄLLÄ 2017.....	140
Anni Suutari & Annu Vastela & Karri Saarinen & Ville Kakkonen	

MONIMUOTOISET METSÄT (MOMET) -HANKE .....	148
Rauno Kousa	
HYVÄ HALLITUSTYÖ METSÄNHOITOYHDISTYKSISSÄ.....	154
Pasi Pakkala	
ENERGIASELVITYKSET ECOOL-HANKKEESSA .....	168
Erja Tuliniemi & Lauri Heikkilä	
RESURSSITEHOKKUUTTA KYMENLAAKSOON .....	173
Erja Tuliniemi & Henrikki Pieskä	
TKI-ENERGIAKESKITTYMÄ - HANKEYHTEISTYÖSTÄ ETEENPÄIN .....	179
Juha Solio & Kirsi Tallinen & Erja Tuliniemi	
KYMENLAAKSON RIS3-BIOTALOUSSTRATEGIAN TOIMEENPANO.....	184
Tuomo Kauha & Ville Rätty & Kirsi Tallinen	
HETEROGEEINEN BIOLENTOTUHKKA JA SEN HYÖDYNTÄMINEN - HAVAINTOJA ET-HANKKEESSA.....	191
Eveliina Kuokkanen & Anne Gango	
ENERGIATEHOKKUUTTA SUOMEN SATAMIIN .....	200
Anni Anttila & Minna Lindroos	
DIGITALISATION IN ENERGY TECHNOLOGY - REMOTE MONITORING AND CONTROL IN POWER PRODUCTION.....	212
Merja Mäkelä & Seppo Immonen & Pentti Korvala	
UUDEN PURISTUSJAUHATUSTEKNIIKAN KEHITYS .....	223
Juhani Turunen & Jari Käyhkö	
UUSIA MITTAUSSOVELLUKSIA TEOLLISUUDEN LIETTEIDEN HALLINTAAN.....	234
Markku Kuosa & Riku Kopra	
LIUENNEEN KUIVA-AINEMITTAUKSEN HYÖDYNTÄMINEN SELLUTEHTAAN HAPPIVAIHEEN TOIMINNAN SEURAAMISESSA.....	238
Riku Kopra	
KAASUDISPERSION TILAN MITTAAMINEN SELLUTEHTAAN HAPPIVAIHEESSA JATKUVATOIMISELLA IN-LINE-KUPLAKUVAUKSELLE .....	245
Jari Käyhkö & Heikki Mutikainen	

KUITULABORATORION YHTEISTYÖ NORTH CAROLINA STATE UNIVERSITYN KANSSA .....	253
Jari Käyhkö & Emmi Kallio	
PAPERIKEMIKAALIEN FLOKKAUKSEN TUTKIMINEN - ANALYYSILAITTEISTOJEN VERTAILU .....	259
Emmi Kallio & Tiina Saario & Jari Käyhkö	
KAIVOSTEOLLISUUDEN UUDET INNOVATIIVISET PUHDISTUSRATKAISUT....	266
Noora Haatanen & Teijo Linnanen & Juhani Turunen & Janne Kankkunen	
FOTONIIKKASENSORI- JA KORKEAN TEKNOLOGIAN KUVANTAMISEN DEMONSTROINTI METSÄBIOJALOSTAMON HALLINTAAN (FOKUDEMO-HANKE) .....	272
Elina Havia & Jari Käyhkö & Yrjö Hiltunen & Riku Kopra & Mika Liukkonen	
FLUORESENSSIMENETELMÄN KEHITYS MÄNNYN SYDÄNPUUN UUTEAINEIDEN MITTAUKSEEN .....	280
Henri Montonen & Elmar Bernhardt & Elina Havia & Hannu Leinonen & Anni Harju	
SAVONLINNA SMART DEMONSTRATIONS .....	284
Elina Havia & Elmar Bernhardt & Henri Montonen & Hannu Leinonen & Yrjö Hiltunen	
LED-VALAISTUSJÄRJESTELMÄ LUKELUX 1000 KUUSEN KASVULLISEN LISÄYKSEN TUTKIMUKSEEN .....	294
Elmar Bernhardt & Henri Montonen & Elina Havia & Hannu Leinonen	
MRI-KUVANTAMINEN TEOLLISUUSOVELLUKSISSA.....	302
Ekaterina Nikolskaya & Mika Liukkonen & Yrjö Hiltunen	
TEOLLISUUSPROSESSIEN TEHOKKAAMMAT TIEDONJALOSTUSRATKAISUT.....	307
Mika Liukkonen & Yrjö Hiltunen	

# TULOSELLISTA KAAKKOIS-SUOMALAISTA TUTKIMUS- JA KEHITYSTOIMINTAA ELINKEINO-ELÄMÄLLE – TUTKIMUSTA YLI RAJOJEN

Hanne Soininen & Lasse Pulkkinen

Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulun (Xamk) Metsä, ympäristö ja energia -vahvuusalan tutkimus- ja kehittämistoiminta edistää Kaakkois-Suomen kahden maakunnan – Etelä-Savon ja Kymenlaakson – menestyksen ja kasvun kannalta tärkeitä toimialoja, kehittää Suomen ja alueen luonnonvarojen kestäväää käyttöä, parantaa energia- ja materiaalitehokkuutta sekä antaa ratkaisuja ympäristökysymyksiin ja turvaa puhdasta elinympäristöä. Metsä, ympäristö ja energia -vahvuusalan tutkimusympäristön muodostavat Mikkelin ympäristötekniikan, puutekniikan, talotekniikan, materiaalitekniikan ja sähkötekniikan laboratoriot, Kymenlaakson Kymilabs ja Biosampo sekä Savonlinnan Kuitulaboratorio ja Elekroniikan 3K-tehdas.

Tässä artikkeliteoksessa esitellään Xamkin Metsä, ympäristö ja energia -vahvuusalan TKI-toimintaa, jota on vuonna 2017 toteutettu Kotkan, Kouvolan, Mikkelin ja Savonlinnan yksiköissä. Osa hankkeista on yksiköiden omaan ydinosaamiseen perustuvaa alueellista kehittämistoimintaa. Kasvavassa määrin yksiköt ovat yhdistäneet osaamistaan ja yritystarpeita entistä monialaisemmaksi kehittämistoiminnaksi. Vahvuusalan kehittämistoiminnassa on mukana eri puolilta Suomea ja osin myös kansainvälisesti lähes 400 yritystä. Julkaisu kattaa osan tästä yritysten kanssa yhteistyössä tehtävästä soveltavasta tutkimuksesta ja kehitystoiminnasta.

## **METSÄ, YMPÄRISTÖ JA ENERGIA – KANSALLISTA JA KANSAINVÄLISTÄ TUTKIMUSTA**

TKI-työtä tehdään Xamkissa Metsä, ympäristö ja energia -vahvuusosalalla monipuolisella kehittämisrahoituksella, ja toiminnassa korostetaan yrityslähtöisyyttä ja tuloksellisuutta. Lisäksi laboratoriot tekevät yritysten tarpeiden mukaista tutkimusta palveluliiketoimintana. Etelä-Savon maakuntaliiton Euroopan aluekehitysrahastosta rahoittamalla ”Metsä ja ympäristö – puhdas ja älykäs tulevaisuus” -hankkeella on vahvistettu Xamkin tutkimus-, kehittämis- ja innovaatiotoimintaa erityisesti Mikkelin seudulla. Hanke on kehittänyt



alueen metsävarojen hyödyntämistä ja maaseutuelinkeinoja, alueen puutuoteteollisuutta ja teknologiateollisuutta sekä korkeaan teknologiaan ja osaamiseen perustuvaa ympäristö- ja biomassaliiketoimintaa. Hanke on tuonut välillisesti lisäarvoa kehittämällä alueen luonnonvarojen kestäväää käyttöä, parantamalla energia- ja materiaalitehokkuutta, edistämällä materiaalikierrätystä ja jätteiden hyötykäyttöä, lisäämällä uusiutuvien energialähteiden käyttöä ja vähentämällä kasvihuonekaasupäästöjä sekä turvaamalla puhdas elinympäristö. Hanke on mahdollistanut vuorovaikutteisuuden lisäämisen eri sidosryhmien kanssa. Hankkeella on syvennetty kansallisia ja kansainvälisiä verkostoja sekä hyödynnetty niitä rahoituslähteiden hankinnassa (muun muassa Interreg- ja CBC-ohjelmat sekä EU Horizon 2020 -rahoitukset).

Tuomalla uutta kansainvälistä tutkimustietoa ja teknologiaa kansallisista ja kansainvälisistä verkostoista Etelä-Savon maakuntaan on kehitetty myös alueen elinkeinoelämää. Tämän artikkeliteoksen toinen toimittaja työskentelee Xamkin ”Metsä ja ympäristö – Puhdas ja älykäs tulevaisuus” -hankkeessa. Toinen toimittajista on vahvuusalan tutkimusjohtaja.

## **YMPÄRISTÖTURVALLISUUDEN TUTKIMUKSELLA PUHTAAMPI YMPÄRISTÖ**

Xamkin tutkimustoiminnassa ympäristöturvallisuudella tarkoitetaan luonnonvarojen kestäväää käyttöä, yritystoiminnan kehittämistä ympäristöystävällisemmäksi ja puhtaan elinympäristön turvaamista. Ympäristöturvallisuuden TKI-toimintaa tehdään yhdessä yritysten, tutkimuslaitosten ja viranomaisten kanssa. Xamkin ympäristöturvallisuuden tutkimus-, kehittämis- ja innovaatiotoiminnan tavoitteena on edistää alueen vesiosaamista, luonnonvarojen ja vesistöjen kestäväää käyttöä ja hallintaa ja Etelä-Savon maakunnan alueen elinkeinotoiminnan kestäväää kehitystä sekä turvata alueen puhdas elinympäristö. Ympäristöturvallisuudessa kehitetään alueen palveluja ja prosesseja huomioiden elinkaaren aikaiset ympäristö- ja terveysvaikutukset, mahdolliset ympäristöriskit sekä uuden ympäristöteknologian tuomat mahdollisuudet vähähiilisyiden edistämiseksi.

Ympäristöturvallisuuteen liittyvä TKI-toiminta keskittyi vuonna 2017 muun muassa sisäilman laadun mittaamiseen, vuotovesien monitorointiin ja energiatehokkuuden edistämiseen yhdessä alueen yritysten kanssa. Tutkimusyhteistyötä on tehty yritysten ja tutkimuslaitosten kanssa myös vesien- ja sivuainevirtojen käsittelyn tiimoilta. TKI-toimintaa tehtiin myös ympäristöriskien hallinnan ja mittaus-, mallinnus- ja monitorointitekniikoiden osalta. Tutkimustyön toteutusta on edistänyt Mikkelin ympäristölaboratorion osallistuminen hanketoimintaan. Ympäristöturvallisuuden artikkeleissa on esillä tänä vuonna muun muassa Etelä-Savon ELY-keskuksen ja Etelä-Savon maakuntaliiton Euroopan aluekehitysrahastoista rahoittamien hankkeiden tuloksia. Lisäksi on esitetty uusia tuloksia Tekesin rahoittamasta Smart Effluents -hankkeesta ja Euroopan Unionin Horisontti 2020 -tutkimus- ja innovaatio-ohjelmasta rahoitetusta Smart Ground -hankkeesta.

## **METSÄTALOUS JA PUUTUTKIMUS**

Metsätalouden ja puututkimuksen päätavoitteina on edistää alueen metsävarojen täysimääräistä hyödyntämistä sosiaalisesti, taloudellisesti ja ekologisesti. Metsien taloudellinen merkitys on Etelä-Savossa ja Kymenlaaksossa maakunnista suurin. Alueella on vuosi vuoden jälkeen ollut maan suurimmat kantorahatulot. Puutuoteteollisuuden osuus Etelä-Savon aluetaloudesta on merkittävä, kun taas Kymenlaaksossa tärkeässä roolissa on kemiallinen metsäteollisuus. Uusiutuva energia, erikoisuutena metsäteollisuuden sivuvirtojen hyödyntäminen ja biokaasun tuotanto, ovat myös Xamkin tutkimus- ja kehitystoiminnan kohteena. Alueella yli 30 prosenttia teollisuuden liikevaihdosta tulee puutuoteteollisuudesta.

Julkaisun puututkimuksen artikkelit käsittelevät puun modifointia eri menetelmillä, joita ovat erilaiset luontoystävälliset vahakäsittelyt sekä lämpökäsittely. Lisäksi artikkelissa käsitellään viilua raaka-aineena ja sen ominaisuuksien vaikutusta vanerin valmistuksessa. Puututkimus tukee alueen vahvaa puutuoteteollisuutta ja on osaltaan luomassa perustaa vahvistuvalle ja monipuolistuvalle puurakentamisen osaamisen kehittämiseksi ja yritysyhteistyölle.

## **MIKKELISSÄ LISÄTÄÄN ENERGIATEHOKKUUTTA TALOTEKNIIKAN TUTKIMUKSELLA**

Xamkissa on vuoden 2017 aikana merkittävästi panostettu taloteknisten energiaratkaisujen tutkimukseen, ja koulun laboratorioon on rakentumassa uudet laboratoriotilat ja demonstraatioympäristöt, joiden avulla erilaisia taloteknisiä energiaratkaisuja voidaan testata hyvin käytännönläheisesti. Ilmanvaihtoon ja energian hallintaan liittyvät tutkimusympäristöt soveltuvat niin opetuksen, tutkimuksen kuin yritysten tuotekehityksen tarpeisiin, ja julkaisussa esitellään jo nyt saavutettuja tuloksia energiatehokkaan rakentamisen ja talotekniikan vuorovaikutuksesta.

## **KOTKASSA KEHITETÄÄN ENERGIATEKNIKKAA JA KIERTOTALOUTTA**

Xamkin Kotkan yksiköiden vahvuudet liittyvät vahvuusalalla energiatekniikan ja kiertotalouden osaamiseen. Julkaisun artikkelit esittelevät tuhkan käyttöä kiertotalouden materiaalina. Energiatehokkaat rakennukset, kiertotalouden osaaminen sekä Xamkille siirtyneen Biosammon pilotointi- ja tutkimustoiminnan uudet mahdollisuudet ovat myös esillä julkaisussa. Tärkeässä osassa Xamkin toiminnassa on myös alueellisen erikoistumisen ja innovaatiostrategioiden toteuttaminen (RIS3), ja tätä tärkeää kehittämistyötä alueellisena yhteistyönä käsitellään myös julkaisun artikkeleissa Kymenlaakson näkökulmasta.

## **SAVONLINNASSA TUTKITAAN KUITUPROSESSEJA JA TUODAAN UUSIA TEKNOLOGIOITA ALALLE**

Kuitutekniikka eri muodoissaan sekä biotalouden mittaus- ja teknologiaratkaisujen kehittäminen ja soveltava tutkimus ovat Xamkin Savonlinnan Kuitulaboratorion ja Elektroniikan 3K-tehtaan vahvoja osaamisaloja. Artikkelit esittelevät uusia mittausteknologioita sekä prosessi- ja materiaaliratkaisuja, joita metsäbiotalouden alalla Xamkissa muun muassa Tekesin ja alueellisen EAKR-rahoituksen avustuksella kehitetään. Laajassa kaivosteollisuuden ekotehokkuushankkeessa (iFORMINE) sovelletaan metsäteollisuuden innovatiivisten prosessiratkaisujen sekä talteenotetun hiilidioksidin soveltamista kaivosteollisuuden ympäristöhaasteiden hallinnassa ja uusien innovaatioiden tuottamisessa. Xamkin Kuitulaboratorioon on vuoden 2017 aikana saatu toteutettua ainutlaatuinen pilotointiympäristö Aalto-yliopiston kehittämän AaltoCell™-mikrokiteisen selluloosan tuottamiseen. Julkaisussa esitetäänkin ensimmäisiä saavutettuja tuloksia mikrokiteisen selluloosan uusista sovelluksista ja niiden kehittämisestä. Vahvasti esillä ovat myös kuvantavat mittausteknologiat sekä Luonnonvarakeskuksen metsätutkijoiden kanssa kehitetyt LED- ja mittausteknologiat puun tutkimukseen ja jalostukseen.

# VOC-ONLINE-HANKKEELLA TERVEELLISEMPÄÄ SISÄILMAA

Tuija Ranta-Korhonen & Hanne Soininen

VOC-Online – Online-anturiteknologian kehittäminen sisäilmaston terveyden varmistamiseen -hanke kehittää online-mittausteknologiaa sisäilman laadun kokonaisseurantaan. Sisäilmamittausten pohjalta tehdään sähköinen tietokanta, joka tarjoaa uutta tietoa Etelä-Savossa online-anturiteknologiaa valmistaville ja kehittäville yrityksille. Tutkimushankkeen tuloksena saavutetaan kiinteistöjen kokonaisterveyden edistämiseen soveltuvaa teknologiaa, jonka avulla voidaan ehkäistä sisäilmaongelmia. Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulun hanketta rahoittavat Etelä-Savon ELY-keskus Euroopan aluekehitysrahastosta, Marjatta ja Eino Kollin Säätiö, Järvi-Saimaan Palvelut Oy sekä Etelä-Savon pelastuslaitos.

## **SISÄILMAN HUONO LAATU ON SUOMEN SUURIN YMPÄRISTÖTERVEYSONGELMA**

Sisäilman huono laatu on jo pitkään arvioitu yhdeksi maamme suurimmista ympäristöterveysongelmista. Merkittäväksi syyksi sisäilman huonon laatuun arvioidaan olevan rakennusten kosteus- ja homevauriot. Merkittävien kosteus- ja homevaurioiden esiintyvyys on Reijulan ym. (2012) tutkimuksen mukaan pien- ja rivitaloissa 7–10 %, kerrostaloissa 6–9 %, kouluissa ja päiväkodeissa 12–18 %, hoitolaitoksissa 20–26 % ja toimistoissa 2,5–5 % kerrosalasta. Kosteusvaurioiden aiheuttama haitta ei ole kuitenkaan ainoa tekijä sisäilman laadun heikentymiseen. Varsinkin julkisten rakennusten sisäilmaongelmien syy löytyy usein ilmanvaihdesta. Uudemmissakin taloissa on käytetty vanhoilla ilmamäärillä mitoitettuja järjestelmiä, ja rakennuksen elinaikana on tehty toiminnan muutoksen takia tilamuutoksia unohtaen ilmanvaihdon riittävyys. Uusissa rakennuksissa on yleensä riittävät ilmamäärät, joita yritetään ohjata tarpeenmukaisesti energiatehokkuuden nimissä, mutta aina hiilidioksidianturit, ilmamääräsääteisyys ja automatiikka eivät toimi. (Reijula 2012, Hilden 2014.) Sisäilmaongelmia aiheuttavat myös erilaiset kemialliset epäpuhtaudet, jotka voivat olla lähtöisin joko rakennuksesta, kalusteista tai ihmisen toiminnasta (Sisäilmayhdistys 2008).

Työympäristössä vaikuttavista kemiallisista tekijöistä on Sosiaali- ja terveysministeriö asetuksellaan nro 190 (Sosiaali- ja terveysministeriön asetus haitallisiksi tunnetuista pitoisuuksista) antanut säädöksiä valtioneuvoston asetuksen 715/2001 13 ja 15 §:n nojalla. Asuntojen ja muiden oleskelutilojen kemiallisten aineiden enimmäispitoisuuksista sisäilmassa ei ole käytettävissä kansainvälisiä tai kotimaisia viranomaisstandardeja. Asumisterveysohjeessa on orgaanisille aineille esitetty joitakin numeerisia arvoja, jotka ovat luonteeltaan ohjeelli-

sia ja perustuvat Suomessa aikaisemmin terveydenhoitolain (469/65) nojalla julkaistuihin suosituksiin ja käytännön valvontatyössä hankittuun kokemukseen sekä terveydensuojeluviranomaisten päätöksiin.

Terveydellisten olojen valvontaa varten tehdyt Asumisterveysasetus (STM 545/2015) ja Asumisterveysopas (2008) kuvaavat viranomaisen käytettävissä olevia mittausten menetelmiä ja tulosten tulkintaa. Asetuksesta löytyvät myös raja-arvot mm. haihtuville orgaanisille yhdisteille (VOC), formaldehydille ja hiilimonoksidille. Myös Asumisterveysohjeessa on annettu ohjeita kemiallisille epäpuhtauksille (Asumisterveysohje 2003). Asumisterveysohjeen (2003) lisäksi sisäilmaa koskevia tavoitearvoja on annettu Suomen rakentamismääräyskokoelman osassa D2 Rakennusten sisäilmasto ja ilmanvaihto ja Sisäilmayhdistyksen julkaisussa 5 Sisäilmastoluokitus 2000.

Sisäilmaongelmaiset rakennukset ovat etenkin kuntasektorin ongelma. Tutkimusten mukaan esimerkiksi koulu- ja päiväkotirakennuksista 12–18 % ja hoitolaitoksista 20–26 % kärsii kosteus- ja homevaurioista. Lisäksi monissa rakennuksissa on todettu puutteellisesta ilmanvaihdosta johtuvia sisäilmaongelmia. Sisäilmaongelmista kärsivien kiinteistöjen korjauskustannukset ovat kuntatalouden merkittävä kuluerä. Rakennusten sisäilmaongelmilla ja niiden vähentämisellä on merkitystä myös kansanterveyden kannalta.

## **TUTKIMUSHANKKEELLA KEHITETÄÄN SISÄILMAN LAADUN KOKONAISSEURANTAA**

Tutkimushankkeen tavoitteena on kehittää online-anturiteknologiaa sisäilman laadun kokonaisseurantaan. Hankkeen tavoitteena on tutkia kiinteistöjen sisäilmastoa olemassa olevalla teknologialla ja luoda sähköinen tietokanta muun muassa alueen online-anturiteknologiaa valmistavien ja kehittävien yritysten käyttöön. Hankkeessa tutkitaan myös sisäilma-antureiden tuotekehitykselle asetettavia vaatimuksia, joita yritykset voivat hyödyntää omassa anturiteknologian kehittämistyössään. Lisäksi tavoitteena on kehittää sammutustyön jälkiseurannan työturvallisuutta. Hankkeessa kehitetään myös online-seuranta rakennusten kunnossapitoon ja rakennuskannan saneerausikatauluihin.

Hankkeen toimenpiteet ovat seuraavat:

- Kiinteistöjen sisäilmaston laatu elinkaaren eri vaiheissa
- Sähköinen tietokanta kiinteistöjen sisäilmastosta
- VOC-anturin ja online-seurannan kehittäminen sisäilman laadunhallintaan
- Anturiteknologian kehittäminen työturvallisuuteen
- Tiedottaminen ja tulosten raportointi

## YRITYKSILLE UUSIA TOIMINTAMAHDOLLISUUKSIA

Tutkimushankkeen tuloksena saavutetaan kiinteistöjen kokonaisterveyden edistämiseen soveltuvaa teknologiaa, jolla voidaan ennaltaehkäistä rakenteellisten virheiden ja ongelmien aiheuttamia sisäilmaongelmia. Hankkeessa luotavat uudet tuoteinnovaatiot tuovat kustannussäästöjä kiinteistöjen omistajille ja edistävät asumisterveyttä ja yhteiskunnan hyvinvointia.

Sisäilman huono laatu on jo pitkään arvioitu yhdeksi maamme suurimmista ympäristöterveysongelmista. Erilainen anturi- ja sensoritekniikka on yleistymässä sisäilmamittauksissa huonon sisäilman laadun selvittämiseksi. Hankkeessa saavutetut tutkimustulokset ja testatut menetelmät jäävät alueen yritysten käyttöön ja luovat pohjan uusille tuoteinnovaatioille.

Online-anturitekniikka mahdollistaa rakennusten sisäilman entistä tarkemman ja ajantasaisen seurannan. Seurannan avulla pyritään havaitsemaan jo ensimmäiset merkit rakennuksen sisäilman laadun huononemisesta (kuva 1). Hanke tarjoaakin sähköisen tietokannan elinkaaren eri vaiheissa olevien rakennusten sisäilman laadusta tuotekehityksen, suunnittelun ja saneerauksen tueksi.



*Kuva 1. VOC-Online-hankkeessa tutkitaan sisäilman laatua (kuva Manu Eloaho).*

## LÄHTEET

Asumisterveysohje 2003. Asuntojen ja muiden oleskelutilojen fysikaaliset, kemialliset ja mikrobiologiset tekijät. Sosiaali- ja terveysministeriön oppaita 2003:1. [http://www.finlex.fi/pdf/normit/14951-asumisterveysohje\\_pdf.pdf](http://www.finlex.fi/pdf/normit/14951-asumisterveysohje_pdf.pdf). Ei päivytystietoja.

Asumisterveysopas 2008. Sosiaali- ja terveysministeriön Asumisterveysohjeen (STM:n oppaita 2003:1) soveltamisopas. 2. korjattu painos. Ympäristö ja Terveys -lehti. ISBN: 978-952-9637-35-5.

Hilden S. 2014. Julkisten rakennusten sisäilmaongelmat – paljonko on paljon. Rakennuslehti. <http://www.rakennuslehti.fi/blogit/julkisten-rakennusten-sisailmaongelmat-paljonko-on-paljon/>. Päivitetty 24.10.2014.

Reijula K., Ahonen, G., Alenius, H., Holopainen, R., Lappalainen, S., Palomäki, E., Reiman M. 2012. Rakennusten kosteus- ja homeongelmat. Eduskunnan tarkastusvaliokunnan julkaisuja 1/2012. ISBN 978-951-53-3454-1.

Sisäilmayhdistys ry. 2008. Kemialliset epäpuhtaudet. <http://www.sisailmayhdistys.fi/Terveelliset-tilat/Sisailmasto/Kemialliset-epapuhtaudet>.

Sisäilmastoluokitus 2000, Sisäilmayhdistys julkaisu 5. Sisäilmayhdistys ry, Rakennustietosäätiö, Suomen Arkkitehtiliitto SAFA, Suomen toimitila- ja rakennuttajaliitto RAKLI, Suunnittelu- ja konsulttitoimistojen Liitto SKOL.

Sosiaali- ja terveysministeriön asetus asunnon ja muun oleskelutilan terveydellisistä olosuhteista sekä ulkopuolisten asiantuntijoiden pätevyysvaatimuksista. 545/2015. Finlex. <http://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2015/20150545>.

Suomen rakentamismääräyskokoelma, osa D2. Rakennusten sisäilmasto ja ilmanvaihto. Määräykset ja ohjeet 2012. Ympäristöministeriö. Rakennetun ympäristön osasto. [http://www.finlex.fi/data/normit/37187-D2-2012\\_Suomi.pdf](http://www.finlex.fi/data/normit/37187-D2-2012_Suomi.pdf).

# VOC-ONLINE-HANKKEESSA TUTKITAAN JÄRVI-SAIMAAN PALVELUT OY:N OSAKASKUNTIEN OMISTAMIEN KIINTEISTÖJEN SISÄILMAA

Tuija Ranta-Korhonen & Salla Thil & Jukka Partanen

Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulun toteuttamassa Online-anturiteknologian kehittäminen sisäilmaston terveyden varmistamiseen – VOC-Online -hankkeessa selvitetään eri-ikäisten ja eri käytössä olevien rakennusten sisäilman laatua ja koostumusta mittausten avulla. Mittausten ja havaintojen tulokset kootaan hankkeessa luotavaan tietokantaan, jota yritykset ja tutkimuslaitokset voivat jatkossa hyödyntää toiminnassaan. Lisäksi hankkeessa tutkitaan ja kehitetään mittaustekniikkaa palokohteiden jälkiseurantaa varten sekä sisäilman laadun online-seurantaa. Hanketta rahoittavat Etelä-Savon ELY-keskus Euroopan aluekehitysrahastosta, Järvi-Saimaan Palvelut Oy, Etelä-Savon pelastuslaitos sekä Marjatta ja Eino Kollin säätiö.

## JOHDANTO

Tutkimusten mukaan suomalaiset viettävät ajastaan yli 90 % sisätiloissa, mikä tarkoittaa vuorokaudessa yli 20 tuntia. Tämän vuoksi on tärkeää, että rakennusten sisäilma olisi mahdollisimman puhdasta ja hyvälaatuista. Eri aikoina rakennetuissa rakennuksissa on käytetty rakennusajankohdalle tyypillisiä materiaaleja ja rakenneratkaisuja, mikä osaltaan vaikuttaa sisäilman laatuun. Lisäksi rakennuksissa on eri aikoina suosittu erilaisia korjaustekniikoita ja ilmanvaihtoratkaisuja, jotka myös tuovat oman lisänsä sisäilmaan. Rakennukset myös ikääntyvät ja niissä olevat talotekniset järjestelmät tulevat käyttöikänsä päähän. Anturitekniikan avulla olisi mahdollista seurata rakennuksen sisäilmaston tilaa reaaliaikaisesti ja esimerkiksi tehostaa ilmanvaihtoa tarvittaessa. Markkinoilla on muun muassa lämpötilaa, ilmankosteutta, CO<sub>2</sub>-pitoisuutta sekä VOC-yhdisteitä mittaavia jatkuvatoimisia antureita.

## JÄRVI-SAIMAAN PALVELUT

Järvi-Saimaan Palvelut Oy on perustettu vuonna 2013 yhtiöittämällä Juvan, Sulkavan ja Rantasalmen kuntien tekniset toimet. Tällä hetkellä yritys huolehtii muun muassa osakaskuntien kaavoituksesta, ruokahuollosta, siivouksesta, liikunta-alueiden hoidosta, alueinfran



hoidosta, kiinteistöjen kunnossapidosta, rakennuttamisesta sekä vesihuollosta. Yritys tarjoaa myös palveluita ulkopuolisille tahoille. Yrityksen huollettavana oleva kiinteistökanta on yhteensä noin 155 200 m<sup>2</sup>. Tuleva sote-uudistus vaikuttaa myös Järvi-Saimaan Palvelut Oy:n osakaskuntien kiinteistömassaan etenkin sosiaali- ja terveyspalveluiden käyttämien kiinteistöjen osalta.

VOC-Online-hankkeessa tutkitaan mahdollisimman kattavasti hankkeen tutkimuskohteina olevien kiinteistöjen sisäilmaa. Lisäksi tutkimuskohteista kootaan mahdollisimman paljon taustatietoa, esimerkiksi rakennusmateriaaleista tai tehdyistä remonteista ja korjauksista. Tutkimustulokset ja kerätyt tiedot kootaan hankkeessa luotavaan tietokantaan, jota esimerkiksi Järvi-Saimaan Palvelut Oy ja muutkin yritykset voivat jatkossa hyödyntää omassa toiminnassaan.

## **VOC-ONLINE-HANKKEESSA TUTKITTAVAT KIINTEISTÖT**

VOC-Online-hankkeen tutkimuskohteina on yhteensä 16 erilaista kiinteistöä, joiden joukossa on sekä yksityisomistuksessa olevia omakotitaloja että julkisia rakennuksia. Julkisista rakennuksista kymmenen on Järvi-Saimaan Palvelut Oy:n osakaskuntien Juvan, Sulkavan ja Rantasalmen omistuksessa. Sulkavalta tutkimuskohteina ovat kirjasto, yhtenäiskoulu, virastotalo, terveyskeskus sekä vanhainkoti Kissankello. Juvalla hankkeen kohteina ovat kunnanvirasto, kirjasto, Juvakoti (vanhainkoti-palvelukeskus) sekä Hatsolan koulu. Rantasalmella tutkimuksia tehdään kunnantalossa.

Kohteet on rakennettu eri vuosikymmeninä. Vanhin kohteista on Hatsolan koulu, joka on rakennettu jo 1930-luvulla; uusin kohde on puolestaan 1990-luvun lopulla rakennettu Sulkavan kirjasto. Kohteista viisi on rakennettu 1960- ja 1970-luvuilla. Jokaisessa kohteessa on luonnollisesti vuosien saatossa tehty runsaasti erilaisia korjauksia ja perusparannuksia. Kaikissa kohteissa on koneellinen ilmanvaihto (koneellinen tulo ja poisto), ja kaikki kunnakeskuksissa sijaitsevat kiinteistöt lämpiävät kaukolämmöllä. Suurin osa kiinteistöistä on rakennettu betonielementeistä.

VOC-Online-hankkeessa tehtävien tutkimusten tavoite ei ole etsiä kiinteistöistä vaurioita tai ratkaista mahdollisia sisäilmaongelmia, vaan tutkia, minkälainen sisäilma eri-ikäisissä ja eri käytössä olevissa kiinteistöissä on. Kaikki hankkeessa tutkimuskohteina olevat kiinteistöt ovat normaalisti käytössä, ja niissä työskennellään ja opiskellaan. Sisäilmatutkimukset suoritetaan kiinteistön normaalitoiminnan aikana.

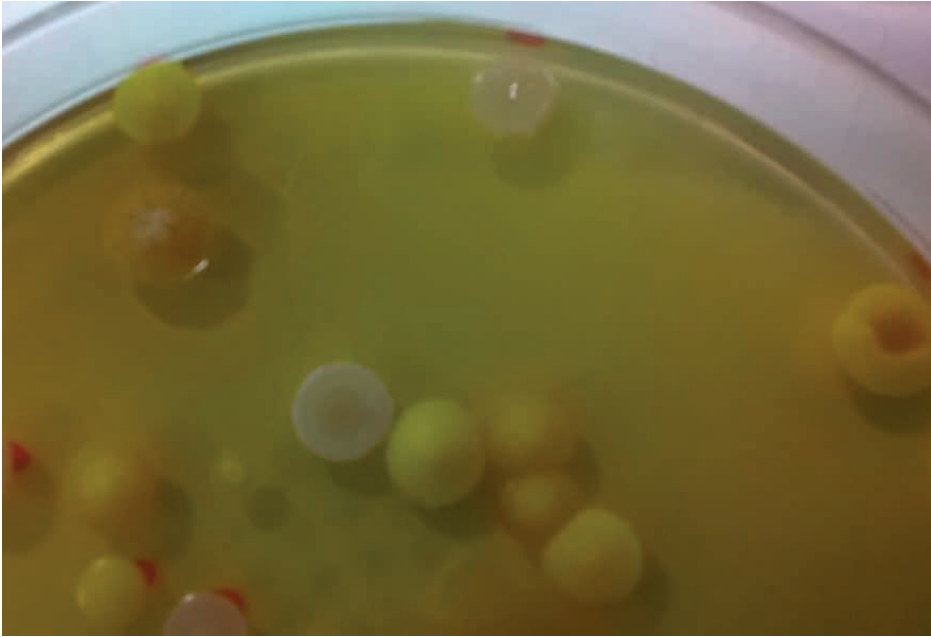
## **SISÄILMATUTKIMUKSET**

VOC-Online-hankkeessa tutkitaan tutkimuskohteina olevien kiinteistöjen sisäilmaa mahdollisimman monipuolisesti. Sisäilmasta otetaan mikrobinäytteitä kasvatusalustoille 6-vaiheimpaktorilla eli Andersenin keräimellä. Kuvassa 1 on esitetty näytteenottoa Andersenin keräimellä.



*Kuva 1. Ulkoilmanäytteen ottoa Andersenin keräimellä (kuva Tuija Ranta-Korhonen).*

Näytteitä otetaan kolmelle eri elatusalustalle, joista Malt 2% -alusta on tarkoitettu kosteissa oloissa viihtyville sienille, DG18-alusta kuivissa oloissa viihtyville sienille ja PCA erilaisille bakteereille. Näytteitä viljellään näytteenoton jälkeen kasvatuskaapissa +25°C (±3°C) lämpötilassa seitsemän vuorokauden ajan. PCA-alustojen viljelyä jatketaan edelleen vielä seitsemän vuorokauden ajan näytteissä mahdollisesti olevien aktinobakteereiden havaitsemiseksi. Kuvassa 2 on esimerkki maljalla kasvavista bakteereista.



**Kuva 2.** Maljalla kasvavia bakteeripesäkkeitä (kuva Tuija Ranta-Korhonen).

Ulko- ja sisäilmassa esiintyy aina erilaisia mikrobeja, kuten homeita, hiivoja ja bakteereita. Sisäilmassa näiden lähteenä voivat olla muun muassa ruoanlaitto (esimerkiksi juureen/kasvien käsittely), polttopuut tai tiloissa oleskelevat ihmiset ja kotieläimet. Mikrobin esiintyminen sisäilmassa ei siis sinällään ole merkki esimerkiksi sisäilmaongelmasta. Kuitenkin mikrobin hyvin runsas esiintyminen tai tavallisuudesta poikkeavat mikrobilajit voivat olla seurausta esimerkiksi rakennuksen kosteusvauriosta.

Hankkeessa selvitetään myös tilojen hiukkaspitoisuutta. Tutkimuskohteiden sisäilmasta otetaan näytteitä TSI Dusttrak 8533EP -hiukkasmittarilla (kuva 3). Mittari kykenee erottelemaan hiukkaset niiden läpimitan perusteella viidessä eri kokoluokassa;  $PM_1$ ,  $PM_{2,5}$ ,  $PM_4$ ,  $PM_{10}$  (hengitettävät hiukkaset) ja  $PM_{15}$  (kokonaispöly). Tulostarkastelussa keskitytään hiukkaskokoluokkiin  $PM_{2,5}$  ja  $PM_{10}$ .



*Kuva 3. Sisäilman hiukkaspitoisuuden mittausta toimistossa (kuva Tuija Ranta-Korhonen).*

Rakennusmääräyskokoelman osan D2: Rakennusten sisäilmasto ja ilmanvaihto mukaan  $PM_{10}$ -kokoluokan hiukkasten (hiukkasten läpimitta alle  $10 \mu m$ ) määrä sisäilmassa saa 24 tunnin mittausten perusteella olla enintään  $50 \mu g/m^3$ . Esimerkiksi tavallinen katupöly sijoittuu kooltaan  $PM_{10}$  hiukkaskokoluokkaan. Asumisterveysasetuksen (545/2015) mukaan pienhiukkasten eli kokoluokan  $PM_{2,5}$  (hiukkasten läpimitta alle  $2,5 \mu m$ ) keskimääräinen pitoisuus 24 tunnin mittausten perusteella saisi olla enintään  $25 \mu g/m^3$ . Pienhiukkasia syntyy esimerkiksi puun poltosta tai liikenteestä.

Kiinteistöistä otetaan myös VOC-näytteitä TENAX-putkiin pumppujen avulla (kuva 4). VOC-yhdisteet (Volatile Organic Compounds eli haihtuvat orgaaniset yhdisteet) voivat olla peräisin muun muassa rakennus- ja sisustusmateriaaleista, pesuaineista tai erilaisista kemikaaleista. Myös mikrobitoiminnassa voi syntyä VOC-yhdisteitä (MVOC). Karkeasti jaotellen noin puolet rakennuksissa esiintyvistä VOC-päästöistä ovat peräisin rakennusmateriaaleista. Rakennusmateriaalien päästöt ovat suurimmillaan heti rakentamisen jälkeen ja pienenevät ajan kuluessa. Kosteusvauriot voivat aiheuttaa VOC-päästöjen kasvua tai muuttaa niiden koostumusta. Myös korkea sisäilman lämpötila tai ilmankosteus lisäävät eri materiaalien VOC-päästöjä.



*Kuva 4. VOC-näytteenottoa pumpun avulla (kuva Tuija Ranta-Korhonen).*

Näytteenoton jälkeen TENAX-putket lähetetään tutkittavaksi ulkopuoliseen laboratorioon. Näytteiden analysointi tapahtuu kaasukromatografi-massaspektrometrilaitteistolla. Kohteiden sisäilman VOC-pitoisuuksia tutkittiin myös suoraan osoittavan mittarin avulla.

VOC-yhdisteiden kokonaispitoisuuden toimenpideraja huoneilmassa tolueninivasteella ilmoitettuna on  $400 \mu\text{g}/\text{m}^3$  ja yksittäisen yhdisteen toimenpideraja puolestaan  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Lisäksi on määritetty matalampia toimenpiderajoja muun muassa TXIB-yhdisteille ( $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ), 2-etyyli-1-heksanolille ( $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ), naftaleenille ( $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) ja styreenille ( $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ). (STM 545/2015, 15 §) TXIB-yhdisteet ja 2-etyyli-1-heksanoli ovat muun muassa PVC-muovimateriaalista haihtuvien VOC-yhdisteiden indikaattoreita. Naftaleeni puolestaan on kreosootin hajoamistuote. Sisäilman styreenin lähteitä ovat esimerkiksi erilaiset lattiapinnoitteet, kumimatot tai kylmäkalusteet. (Valvira 2016, 4–5)

Lisäksi tiloista mitataan sisäilman  $\text{CO}_2$ -pitoisuutta sekä ilman suhteellista kosteutta ja lämpötilaa. Myös ilmanvaihdon toimivuutta tarkasteltiin mittausten avulla soveltuvien

osin. Ilmanvaihdon tulee olla rakennuksen käyttöön nähden riittävä. RakMK:n osan D2 ohjeen mukaan sisäilman CO<sub>2</sub>-pitoisuuden tulisi tavanomaisissa sääoloissa ja tilan normaalisissa käytössä olla enintään 1 200 ppm. Sisäilmastoluokitus 2008:n mukaan luokassa S1 CO<sub>2</sub>-pitoisuuden tulisi olla alle 750 ppm, luokassa S2 alle 900 ppm ja luokassa S3 (joka on yhtenevä RakMK:n osan D2 kanssa) alle 1 200 ppm. (RT 2009)

RakMK D2:n mukaan rakennuksen huonelämmön suunnitteluarvona käytetään yleensä lämpötilaa 21°C lämmityskaudella ja kesäkaudella lämpötilaa 23°C. Suositeltava sisäilman suhteellinen kosteus on 20–60 %. Mikäli huoneilma on hyvin kuivaa, voi se ärsyttää hengitysteitä sekä lisätä materiaalien pölyävyyttä ja pölyn kulkeutumista ilmassa. Liian korkea ilmankosteus puolestaan lisää kosteusvaurioiden riskiä ja voi edesauttaa mikrobikasvustojen muodostumista.

## TUTKIMUSTEN TULOKSET

Hankkeen ensimmäinen näytteenottokierros tutkimuskohteissa tehtiin touko-syyskuussa 2017. Yleensä mikrobinäytteenotto on suositeltavaa tehdä talviaikana, sillä maan ollessa jäässä ja lumipeitteinen ei ulkoilmassa ole juurikaan mikrobeja. Tällöin ulkoilman mikrobit eivät pääse ”sotkemaan” sisäilmasta otettujen näytteiden tulosten tulkintaa. Koska ensimmäinen näytekierros tehtiin kuitenkin sulan maan aikana, otettiin jokaisessa kohteessa myös ulkoilmanäyte vertailua varten. Vertailun avulla voidaan selvittää, kuinka suuri osa mikrobeista on peräisin ulkoilmasta. Mikrobien lajitunnistusta ei tässä yhteydessä kuitenkaan tehty. Kosteusvaurioita etsittäessä on ilmanäytteiden tulosten tulkinnessa olennaista mikrobien määrän lisäksi niiden laji, sillä vaurioituneissa rakennuksissa esiintyy monesti mikrobeja, joita ei juurikaan tavata vaurioitumattomissa kohteissa (Valvira 2016, 7).

Tutkimuskohteista otettujen ilmanäytteiden mikrobipitoisuus sekä kosteissa että kuivissa oloissa viihtyvien sienten osalta jäi kaikissa tapauksissa pienemmäksi kuin ulkoilman mikrobipitoisuus. Tämä tarkoittaa luultavasti sitä, että koneellinen ilmanvaihto ja tuloilman suodatus toimivat riittävällä tasolla. Bakteripitoisuudet olivat usean kohteen sisäilmassa moninkertaisia ulkoilman bakteripitoisuuteen verrattuna. Yhdessäkin kohteessa ei kuitenkaan ylittynyt asumisterveysasetuksen soveltamisohjeessa mainittu raja-arvo 4 500 pmy/m<sup>3</sup>, joka indikoi riittämätöntä ilmanvaihtoa tilojen käyttöön nähden. (Valvira 2016, 13) Bakterien lähteenä ovat yleensä tiloissa työskentelevät ja oleskelevat ihmiset.

Suurimmassa osassa kohteissa sisäilman hiukkaspitoisuudet olivat alemmat tai suunnilleen samalla tasolla molempien tarkasteltujen hiukkaskokojen osalta (PM<sub>10</sub> ja PM<sub>2,5</sub>). Muutamien mittauspisteiden sisäilmassa hiukkaspitoisuudet olivat selkeästi korkeammat kuin ulkoilman pitoisuudet, mutta näissäkin kohteissa korkeampiin hiukkaspitoisuuksiin vaikuttaisi alustavan tarkastelun perusteella löytyvän selkeä syy (esimerkiksi tiloissa käsiteltävät tekstiilit).

Tehtyjen mittausten perusteella sisäilman VOC-pitoisuudet olivat kaikissa mittauspisteissä hyvin matalat, sillä ne vaihtelivat välillä 20–39 µg/m<sup>3</sup>. Tiloissa, joissa on koneellinen ilmanvaihto, ovat sisäilman VOC-pitoisuudet tyypillisesti <100 µg/m<sup>3</sup>.

## JOHTOPÄÄTÖKSET

Sisäilman laatuun vaikuttavat monet tekijät, esimerkiksi rakennus- ja sisustusmateriaalit, ilmanvaihtojärjestelmän toimivuus, lämpötila- ja kosteusolot, tiloissa tapahtuva toiminta sekä siellä työskentelevät ja oleskelevat ihmiset. Sisäilman eri komponentteja voidaan mitata ja tutkia erilaisten mittausten avulla. Yksittäiset mittaukset eivät kuitenkaan anna sisäilman laadusta riittävän kattavaa kuvaa, vaan mittauksia tulee tehdä useita ja niitä tulee toistaa eri vuodenaikoina ja olosuhteissa. VOC-Online-hankkeen mittauksia jatketaan Järvi-Saimaan Palvelut Oy:n osakaskuntien omistamissa kiinteistöissä talven 2017–2018 aikana, ja mittaukset toistetaan vielä keväällä ja syksyllä 2018. Järvi-Saimaan Palvelut Oy saa hankkeen ansiosta ajantasaista tietoa hankkeessa mukana olevien kiinteistöjen sisäilman laadusta.

## LÄHTEET

STM 545/2015. Sosiaali- ja terveysministeriön asetus asunnon ja muun oleskelutilan terveydellisistä olosuhteista sekä ulkopuolisten asiantuntijoiden pätevyysvaatimuksista. Annettu 23.4.2015.

Rakennusmääräyksetkokoelman osa D2: Rakennusten sisäilmasto ja ilmanvaihto.

RT 2009. Sisäilmastoluokitus 2008. RT 07-10946.

Valvira 2016. Asumisterveysasetuksen soveltamisohje 8/2016. Osa IV.

# SISÄILMAN VOC-YHDISTEET JA NIIDEN MITTAAMINEN

Salla Thil & Tuija Ranta-Korhonen & Hannu Salmi & Sauli Paloniitty

Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulun toteuttamassa Online-anturiteknologian kehittämisen sisäilmaston terveyden varmistamiseen – VOC-Online -hankkeessa selvitetään eri-ikäisten ja eri käytössä olevien rakennusten sisäilman laatua ja koostumusta mittausten avulla. Mittausten ja havaintojen tulokset kootaan hankkeessa luotavaan tietokantaan, jota yritykset ja tutkimuslaitokset voivat jatkossa hyödyntää toiminnassaan. Lisäksi hankkeessa tutkitaan ja kehitetään mittaustekniikkaa palokohteiden jälkiseurantaan varten sekä sisäilman laadun online-seurantaan. Online-mittausteknologian avulla on mahdollista havaita jo ensimmäiset merkit sisäilman laadun huononemisesta ja siten ehkäistä sisäilmaongelmia. Hankkeen toteutusajankaus on 1.1.2017–31.12.2018. Hanketta rahoittavat Etelä-Savon ELY-keskus Euroopan aluekehitysrahastosta, Järvi-Saimaan Palvelut Oy, Etelä-Savon pelastuslaitos sekä Marjatta ja Eino Kollin säätiö.

## JOHDANTO

Tämä artikkeli on katsaus VOC-Online-hankkeesta tehtyihin toimenpiteisiin ja tähänastisiin tuloksiin. Hankkeessa tehtäviä sisäilmaselvityksiä ei ole aiemmin tehty yhtä laajassa mitataavassa kohdekiinteistöjen ja tehtävien analyysien lukumäärään nähden, joten hankkeessa saadaan kattavasti tietoa eri-ikäisen rakennuskannan sisäilman laadusta. Sisäilmanäytteiden analysointi laboratoriomenetelmin antaa luotettavimman tuloksen ilman laadusta, mutta myös kehittyvä anturiteknologia lisää mahdollisuuksia sisäilman seurantaan ja entistä nopeampaan reagointiin, mikäli sisäilman laadussa tapahtuu muutoksia. Hankkeessa pyritään selvittämään muutamien kaupallisten VOC-mittareiden antamien tulosten vastaavuutta laboratorioanalyysillä saatuihin VOC-tuloksiin ja siten selvittämään nykyisten VOC-antureiden käyttökelpoisuutta sisäilman laatua arvioitaessa.

Sisäilman terveellisyyteen vaikuttavat monet fysikaaliset, kemialliset ja biologiset tekijät. VOC-Online-hankkeessa tarkoituksena ei ole tutkia vain epäiltyjä sisäilmaongelmakohteita, vaan eri-ikäisten rakennusten sisäilman laatua yleisesti. Sisäilman kemiallista laatua tutkitaan muun muassa määrittämällä sisäilmasta haihtuvia orgaanisia yhdisteitä eli VOC-yhdisteitä ja niiden pitoisuutta eri menetelmillä. VOC-yhdisteitä vapautuu ilmaan rakennus- ja sisustusmateriaaleista sekä ihmisen toiminnasta. Yhdisteiden terveysvaikutuksista on toistaiseksi olemassa vasta vähän tietoa, mutta kohonneiden pitoisuuksien epäillään olevan terveydelle haitallisia. Lisäksi VOC-yhdisteet voivat indikoida epätavallista päästölähdettä, kuten kosteusvauriota.



Tutkimuskohteina olevat kiinteistöt edustavat eri vuosikymmenten rakennuskantaa sisältäen uudis- ja saneerauskohteita sekä alkuperäiskunnossa olevia kiinteistöjä. Hankkeessa kartoitetaan sisäilman kemiallista laatua sen sisältämien kemiallisten yhdisteiden pitoisuuksien perusteella. Sisäilman VOC-pitoisuutta monitoroidaan ja analysoidaan eri menetelmillä, jolloin saadaan tietoa menetelmien käyttökelpoisuudesta sisäilmaselvityksen kannalta.

## VOC-YHDISTEET

Sisäilman kemiallista laatua kuvataan useimmiten terveyshaittaa aiheuttavien, haihtuvien orgaanisten yhdisteiden (Volatile Organic Compounds, VOC) määrällä. Kerätystä näytteestä voidaan analysoida kaikkien VOC-yhdisteiden yhteispitoisuus sisäilmassa (TVOC, Total VOC) tai yksittäisten yhdisteiden pitoisuuksia. Sisäilmasta on tunnistettu satoja eri VOC-yhdistettä, ja niitä ovat esimerkiksi erilaiset aromaattiset hiilivedyt, aldehydit, esterit ja alkoholit. (Asumisterveysopas 2009, 136–137, VOC-päästöt) VOC-yhdisteet voidaan jakaa eri ryhmiin kiehumispisteensä ja siten haihtuvuutensa mukaan; mitä haihtuvammasta yhdisteestä on kyse, sitä helpommin yhdiste kaasuuntuu ilmaan. VOC-yhdisteiden kiehumispiste on 50–260 celsiusastetta. (Asumisterveysopas 2009, 137)

VOC-yhdisteet voivat olla materiaalien lähtöaineita tai niiden hajoamistuotteita. Sisäilman kemikaalien yleisimpiä päästölähteitä ovat rakennus- ja sisustusmateriaalit, mutta myös pesuaineista ja ihmisen toiminnasta haihtuu ilmaan kemikaaleja (Asumisterveysopas 2009, 128, VOC-päästöt). Lisäksi haihtuvien orgaanisten yhdisteiden lähteitä ovat kosmetiikka, lemmikit sekä esimerkiksi toimistolaitteet (Toimiston sisäilman tutkiminen 2011, 86, VOC näytteenotto-ohje 2017).

Materiaalipäästöjen lisäksi VOC-yhdisteiden lähteinä voivat olla mikrobit. Tällöin puhutaan MVOC-yhdisteistä. MVOC-yhdisteet ovat mikrobin toksisia aineenvaihduntatuotteita, joiden esiintyminen sisäilmassa voi viitata mikrobi- tai kosteusvaurioon rakennuksessa. MVOC-yhdistettä tuottavia mikrobeja ovat muun muassa aktinobakteerit, joiden läsnäolo indikoi useimmiten kosteusvauriota. (MVOC-yhdisteet)

Sisäilman kemikaalipitoisuuteen vaikuttavat päästölähteiden lisäksi sisäilman lämpötila, kosteus ja ilmanvaihto sekä rakennuksen ikä ja kunto. Korkea lämpötila ja kosteus edesauttavat rakennusmateriaalien kemiallista hajoamista, ja siten etenkin kosteusvaurioissa vanhoissa taloissa VOC-pitoisuudet voivat olla koholla (Asumisterveysopas 2009, 137). Korkeimmillaan rakennusmateriaalien ja muiden VOC-lähteiden kemialliset päästöt ovat materiaalien ollessa uusia, ja päästöt laskevat ja tasoittuvat ensimmäisen puolen vuoden aikana (Sisäilman kemikaalit 2016, 3).

VOC-yhdisteiden terveysvaikutuksista sisäilmassa on olemassa vasta vähän tietoa, mutta sekä yksittäisten yhdisteiden että yhdisteiden yhteisvaikutusten epäillään olevan terveydelle haital-

lisia (Asumisterveysopas 2009, 137, Hengityслиitto). VOC-yhdisteet aiheuttavat hajuhaittoja ja terveysongelmia, kuten päänsärkyä ja silmien ja limakalvojen ärsytysoireita (VOC-päästöt).

## TUTKIMUS- JA ANALYSOINTIMENETELMÄT

Yleisesti sisäilman VOC-tutkimus voi olla tarpeen, mikäli sisäilman epäillään aiheuttavan terveys- tai hajuhaittoja, joiden syytä ei muuten ole pystytty selvittämään. Lisäksi tutkimuksella voidaan selvittää ulkopuolisen lähteen VOC-päästöjen vaikutus sisäilmaan. Edustavan tuloksen saamiseksi näytteen tulisi vastata mahdollisimman hyvin tutkittavan tilan normaalia sisäilmaa. Tilan ilmanvaihto tulee olla normaaleilla säädöillä ja ikkunatuuletusta, henkilöiden ja lemmikkien oleskelua sekä puhdistusaineiden käyttöä tilassa tulee välttää ennen näytteenottoa ja sen aikana. (Asumisterveysopas 2009, 129, 137, VOC näytteenotto-ohje 2017)

VOC-yhdisteiden tunnistamiseen ja pitoisuuksien mittaamiseen on useita eri menetelmiä. Menetelmän valinta riippuu tutkimuksen kohteena olevista yhdisteistä ja mittausolosuhteista, sillä esimerkiksi kenttämittarit käyttävät eri teknologiaa kuin laboratoriossa käytettävät laitteet. VOC-näytteitä voidaan ottaa sekä ilmastasta että materiaalien pinnoista ja niiden alta. VOC-anturit ilmoittavat pitoisuuden yleensä yksikössä ppm (parts per million) tai ppb (parts per billion), ja VOC-pitoisuus voidaan ilmoittaa myös yksikössä  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ .

Luotettavimman ja yksityiskohtaisimman tuloksen saamiseksi näytettä kerätään sisäilmasta näytteenottokeräimiin, jotka analysoidaan laboratoriossa. Ilmanäytettä kerätään muutamasta tunnista viikkoihin, jolloin tuloksessa voidaan ottaa huomioon VOC-pitoisuuksien vaihtelu ihmisen toiminnan, vuorokauden tai vuodenaikojen mukaan. VOC-yhdisteet voidaan mitata sisäilmasta standardin ISO 16000-6 mukaisesti. VOC-Online-hankkeen ensimmäisessä mittauskokonaisuudessa käytettiin menetelmänä aktiivista näytteenottoa: ilmanäytettä kerättiin pumpulla 45 minuutin ajan Tenax-hartsiputkeen, jonka jälkeen näyte käsiteltiin ja VOC-yhdisteet analysoitiin kaasukromatografi-massaspektrometrilaitteistolla.

Passiivisessa näytteenotossa näyte kerätään ilman pumpua, jolloin keräysaika on yleensä myös pidempi. Näyte kerätään oleskelualueelta huoneen keskeltä, noin 1,1 metrin korkeudelta. Mittauspöytäkirjaan kirjataan huoneessa tapahtuva toiminta näytteenoton aikana, sekä muut mahdollisesti tulokseen vaikuttavat tekijät. Koska VOC-yhdisteiden määrittäminen menetelmissä, analytiikassa ja kvantitoinnissa on kuitenkin laboratorikohtaisia eroja, eivät VOC-analyyseiden tulokset ole aina täysin vertailukelpoisia keskenään. (Asumisterveysopas 2009, 129, 138, VOC näytteenotto-ohje 2017)

VOC-yhdisteiden monitorointiin kentällä on saatavilla kiinteitä antureita sekä kannettavia mittareita. Mittari tulee valita käyttötarkoituksensa mukaan, sillä osa mittareista on tarkoitettu esimerkiksi kaasuvuotojen paikantamiseen vaativissakin olosuhteissa. Kannettavat mittarit soveltuvat sisäilman yksittäisiin, mutta myös pidempijaksoisiin mittauksiin. Kiinteät mittarit asennetaan yleensä poistoilmanvaihtojärjestelmän yhteyteen tai oleskelutilan seinälle.

VOC-emissiolähteen tarkemmaksi paikantamiseksi tai eri alueiden emissioiden vertailemiseksi voidaan tehdä FLEC-mittaus (Field and Laboratory Emission Cell) materiaalin pinnasta (Keinänen, 180). Menetelmässä mitattava materiaali peitetään kammiolla, johon syötetään puhdasta, synteettistä ilmaa, ja kammiosta poistuvan ilman VOC-pitoisuus mitataan. Kupumittauksessa emissioiva materiaali peitetään kuvulla, josta näyteilma johdetaan edelleen näyteputkiin pumppujen avulla ja analysoidaan laboratoriossa. Mittaus voidaan suorittaa myös viiltomittauksena, jolloin näyteilmaa imetään adsorptioputkiin esimerkiksi muovimaton alta viiltoreiän kautta. Näistä pintamittauksista FLEC-mittaus on standardisoitu (ISO 16 000-10, NT Build 484), ja sen etuna on näytteenotossa saatu emissionopeus ja sen avulla laskettava huoneilman pitoisuus. (Asumisterveysasetuksen soveltamisohje, osa 3 2016)

Niin kutsutulla Bulk-mittauksella, materiaalinäytteen emissiopotentiaalimittauksella, voidaan saada lisätietoa epäilyistä emissioivasta materiaalista, kuten lattiapäällysteistä ja sen hajoamisesta. Materiaalista analysoitu tulos kuvaa koko näytepalan emissiota, joten se ei ota huomioon näytteessä mahdollisesti olevia muita materiaaleja, kuten liimoja tai tasoitteita. Materiaali voi sisältää hitaasti poistuvia yhdisteitä, jotka eivät näy sisäilmamittauksissa. Tästä johtuen menetelmä ei ole toistettava mittausmenetelmä, eikä sovi suoraan sisäilman VOC-pitoisuuden todentamiseen. (Keinänen, 181)

Kentällä suoritettaviin VOC-pitoisuuksien mittauksiin soveltuu parhaiten fotoionisaatiotekniikkaa (Photo-ionization detection technology, PID) käyttävä mittari. PID-tunnistimen toiminta perustuu ultraviolettivaloon, joka hajottaa VOC-yhdisteet positiivisiksi ja negatiivisiksi ioneiksi. Yhdiste ionisoituu, mikäli PID-lampussa käytettävän kaasun ionisaatiopotentiaali (IP) on suurempi kuin tunnistettavan kaasun IP. Ionien varauksen perusteella PID-tekniikka pystyy tunnistamaan useimmat näytteen sisältämät VOC-yhdisteet. (Photo-ionization detection (PID) Technology 2013) VOC-Online-hankkeen ensimmäisessä mittauskokonaisuudessa oli käytettävissä PID-tekniikkaan perustuva kannettava mittari, jolla tarkasteltiin kohteiden VOC-pitoisuutta reaaliajassa.

Liekki-ionisaatiotunnistin (Flame ionization detector, FID) on yksi käytetyimmistä tunnistimista kaasukromatografiassa, ja se sopii hyvin VOC-yhdisteiden analysointiin. FID-tekniologiassa ilmanäyte kulkeutuu polttoprosessissa vetyliekin läpi, jolloin muodostuu ioneita ja vapaita elektroneja. Vapautuneiden partikkeleiden ja vetyliekin aiheuttaman virran signaalien eroavaisuus antaa tietoa tutkittavasta näytteestä ja sen koostumuksesta. FID-tekniologia on erittäin herkkä VOC-yhdisteiden tunnistamiseksi. (Gas Chromatography)

Yleisin VOC-yhdisteiden tunnistamiseen käytetty laite on termodesorptio-kaasukromatografi-massaelektiivinen detektori (TD-GC-MS), joka antaa tietoa yhdisteen molekyyllisestä rakenteesta (Salonen ym. 2011, 87). GC/MS-tekniologiassa kaasukromatografian syötetyn ilmanäytteen yhdisteet voidaan erotella ja tunnistaa sekä määrittellä niiden pitoisuudet.

Ilmanäyte kulkeutuu kolonnin läpi saatekaasun kanssa, ja erotellut yhdisteet ionisoidaan. Massa-analysaattori erottelee positiivisesti varautuneet ionit negatiivisista ja siirtää ne tunnistimeen, joka lähettää signaalin edelleen tietokoneeseen. (Gas Chromatography... 2008)

Ioniliikkuvuuspektrometria (Ion mobility Spectrometry, IMS) perustuu yhdisteiden erilaiseen liikkuvuuteen kaasumaisessa väliaineessa. Liikkuvuuteen vaikuttavat aineen massa, muoto ja sähköiset ominaisuudet. Menetelmän herkkyys, nopeus ja yksinkertaisuus soveltuvat hyvin kenttäkäyttöisiin, kannettaviin VOC-antureihin, joissa tulokset halutaan reaaliajassa. (Viidanoja ja Kotiaho 2005)

VOC-yhdisteiden monitorointiin on kehitetty lisäksi useita muita menetelmiä, joilla on tavoiteltu kustannustehokasta teknologiaa ja nopeasti luettavaa tulosta. Esimerkiksi kolorimetrisensoreiden teknologia perustuu väriaineisiin, jotka reagoivat tutkittavan VOC-yhdisteen kanssa. Reagenssin värimuutoksen perusteella voidaan arvioida, sisältääkö tutkittava ilmanäyte VOC-yhdistettä. Menetelmän vahvuus on sen edullinen teknologia ja tuloksen luettavuus paljaalla silmällä. Menetelmällä voidaan kuitenkin tutkia vain yhden yhdisteen esiintyvyyttä kerrallaan, joten kolorimetria sopii menetelmäksi, mikäli tiedetään tai epäillään tietyn yhdisteen esiintymistä sisäilmassa. Useimmat kolorimetriset menetelmät eivät myöskään ilmoita yhdisteen pitoisuutta. Pikaluettavien antureiden heikkous on kuitenkin niiden epätarkkuus ja menetelmän soveltuvuus yhdelle yhdisteelle kerrallaan. (Janzen ym. 2006)

Suomessa on kehitetty uusi menetelmä sisäilman toksisuuden todentamiseen: huurrevesinäytteen keräämiseen ja analysointiin perustuva E-keräin. Keräimenä toimii teräksinen hiilihappojäällä kylmennettävä laatikko, jonka pintaan huoneilman kosteus tiivistyy. Kun huurretta on kerätty laatikon pintaan tunnin verran, hiilihappojää poistetaan, jolloin huurre sulaa metallilaatikon alla olevaan astiaan. Sulamisvesi ja siihen sitoutuneet epäpuhtaudet analysoidaan laboratoriossa menetelmällä, jossa tutkitaan bakteerien tuottamaa valotehoa ja näyteveden epäpuhtauksien vaikutusta siihen. Menetelmä on yksinkertaisen teknologiansa ansioista edullinen, luotettava ja toistettava, ja näytteitä voidaan ottaa ympäri vuoden. (Uusi sisäilmatutkimusmenetelmä 2017)

## TUTKIMUSTEN TULOKSET

Haihtuvien orgaanisten yhdisteiden pitoisuuksille sisäilmassa on Suomessa asetettu toimenpiderajat. Asumisterveysasetuksen 545/2015 15 § mukaan VOC-yhdisteiden tolueenivasteella lasketun kokonaispitoisuuden toimenpideraja huoneilmassa on  $400 \mu\text{g}/\text{m}^3$  ja yksittäisen yhdisteen toimenpideraja  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Lisäksi muutamille yhdisteille on asetettu toimenpiderajat niiden erityisen haitallisuuden vuoksi. (Asumisterveysasetus 525/2015) Asetetut rajat ovat luonteeltaan ohjeellisia, eivätkä kuvaa suoraan terveyshaittaa, vaan tavanomaisesta poikkeavaa sisäilman laatua ja siten poikkeavaa haihtuvien orgaanisten yhdisteiden lähdettä. Toimenpiderajan ylittyessä on ryhdyttävä toimenpiteisiin terveyshaitan

selvittämiseksi ja poistamiseksi, mutta toimenpidetarve voi olla olemassa jo pienemmilläkin mitatuilla TVOC- tai yksittäisen yhdisteen pitoisuuksilla. (Asumisterveysasetuksen soveltamisohje osa 3 2016)

Työterveyslaitos on julkaissut koosteen toimistoympäristöjen epäpuhtaus- ja olosuhdetasointa, joiden ylittyminen voi viitata sisäilmasto-ongelmaan. Haihtuvien orgaanisten yhdisteiden osalta ilmoitettu viitearvo perustuu toimistoissa, kouluissa sekä terveyden- ja päivähoidon tiloissa mitattuihin pitoisuuksiin, joissa 90 %:ssa kohteista pitoisuus oli ilmoitetun viitearvon alapuolella. Yli 100 µg/m<sup>3</sup>:n TVOC-pitoisuus kyseisissä tiloissa viittaa sisäilmaongelmaan. (Kooste toimistoympäristöjen... 2017)

Tulosten tarkastelussa tulee ottaa huomioon sisäilmaan normaalissa käytössä vapautuvat VOC-päästöt. Lisäksi sisäilma-, FLEC-, kupu- ja viiltomittausten tuloksia ei voida verrata keskenään niissä käytettävien eri näytteenottomenetelmien ja -kohteiden vuoksi (Asumisterveysohjeen soveltamisopas, osa 3 2016).

VOC-Online-hankkeessa saadut tulokset haihtuvien orgaanisten yhdisteiden pitoisuuksista ja koostumuksesta sisäilmassa antavat yleiskuvaa rakennusten sisäilman laadusta. Pitoisuudet olivat pääasiassa hyvin matalia, eikä etukäteen ollut tiedossa, mitä VOC-yhdisteitä sisäilma sisältää. Lisäksi monissa kohteissa, joissa oli havaittavissa selkeä hajuhaitta ja oletuksena sisäilman korkea VOC-pitoisuus, olivat pitoisuudet kuitenkin hyvin pieniä. Uudiskohteiden sisäilman VOC-pitoisuudet olivat odotusten mukaisesti korkeita, ja pitoisuuksien oletetaan olevan matalammat seuraavalla, talven 2018 aikana suoritettavalla mittauskerralla.

Mittauksissa kokeiltiin kannettavaa PID-mittaria, mutta mittari ei ainakaan näissä tutkimuskohteissa vaikuttanut käyttökelpoiselta. Hankkeessa tehty aktiivinen näytteenotto TENAX-putkia käyttämällä puolestaan vaikutti toimivalta mittaustavalla, ja sen avulla saatiin käsitys kohteiden sisäilman VOC-pitoisuuksista. PID-mittari sopii todentamaan kohonneen pitoisuuden, mutta sen käyttäminen jatkossa vaatii vielä lisätutkimuksia.

## JOHTOPÄÄTÖKSET

Haihtuvien orgaanisten yhdisteiden analysoinnilla sisäilmasta voi parhaimmillaan saada tietoa rakennuksessa piilevästä kosteusvauriosta ja siten terveyshaitasta. Toisaalta luotettavien tulosten saaminen vaatii järjestelmällistä tutkimista, perehtyneisyyttä yhdisteiden päästölähteisiin ja mittausmenetelmiin sekä tarvittaessa toistettavia mittauksia. Myöskään aistinvaraisesti arvioitu hajuhaitta kiinteistössä ei suoraan indikoi VOC-yhdisteiden suurta pitoisuutta sisäilmassa, vaan hajun päästölähdettä tulee etsiä toisella menetelmällä ja kohdistamalla tutkimukset mahdollisesti muihin sisäilman laatua heikentäviin tekijöihin.

VOC-yhdisteiden monitorointiin on olemassa useita menetelmiä. Vaikka tuotekehityksessä on panostettu kustannustehokkaisiin ratkaisuihin, ovat kehitetyt menetelmät vielä käyt-

tökelpoisuudeltaan rajoittuneita. Pikamittausmenetelmien tulokset osoittavat lähinnä sen, onko kyse VOC-päästöjen aiheuttamasta ilmanlaadun heikkenemisestä, mutta ne eivät anna tietoa yhdisteen laadusta tai määrästä, eikä siten mahdollisesta päästölähteestä. VOC-yhdisteiden takia heikentyneen ilmanlaadun korjaamiseksi ja rakennuksen saneeraustarpeen arvioimiseksi tulisi päästölähde pystyä paikantamaan.

Hankkeen jatkotoimenpiteissä tutkimuksen kohteina olevissa kiinteistöissä monitoroidaan sisäilman laatua pitkäaikaisseurantana tallentavilla VOC-antureilla. Tulosten tulkinnan tueksi kohteista tallennetaan lisäksi lämpötilaa, suhteellista ilmankosteutta ja hiilidioksidipitoisuutta. Tuloksista kootaan sähköinen tietokanta yritysten tuotekehityksen, online-tekniologian sekä rakennusten suunnittelun ja saneerauksen tueksi.

## LÄHTEET

Asumisterveysasetuksen soveltamisohje, osa 3. 2016. Asumisterveysasetus § 14-19. Ohje 8/2016. Valvira. <http://www.valvira.fi/>. Päivitetty 30.11.2016.

Asumisterveysasetus 525/2015. Sosiaali- ja terveysministeriön asetus asunnon ja muun oleskelutilan terveydellisistä olosuhteista sekä ulkopuolisten asiantuntijoiden pätevyysvaatimuksista. <http://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2015/20150545>. Luettu 30.8.2017.

Asumisterveysohje. 2003. Sosiaali- ja terveysministeriön oppaita 2003. Helsinki. [http://www.finlex.fi/data/normit/14951/asumisterveysohje\\_pdf.pdf](http://www.finlex.fi/data/normit/14951/asumisterveysohje_pdf.pdf). Luettu 6.6.2017.

Asumisterveysopas. 2009. Sosiaali- ja terveysministeriö. Asumisterveysohjeen (STM:n oppaita 2003:1) soveltamisopas. Ympäristö ja Terveys -lehti. Vaasa.

D2 Suomen rakentamismääräyskokoelma. 2003. Ympäristöministeriön asetus rakennusten sisäilmastosta ja ilmanvaihdosta. Osa 2.3 Ilmanlaatu. <http://www.finlex.fi/data/normit/1921/D2s.pdf>. Luettu 6.6.2017.

Gas Chromatography Mass Spectrometry (GC/MS). 2008. University of Bristol. <http://www.bris.ac.uk/nerclsmf/techniques/gcms.html>. Luettu 5.6.2017.

Gas Chromatography s.a. Flame Ionization Detector. AGA. <http://www.aga.lt/>. Luettu 5.6. 2017.

Janzen, M., Ponder, J., Bailey, D., Ingison, C, Suslick, K. 2006. Colorimetric Sensor Arrays for Volatile Organic Compounds. Department of Chemistry, University of Illinois at Urbana-Champaign. <http://scs.illinois.edu/~suslick/documents/analchem063591.pdf>. Julkaistu 1.6.2006. Luettu 9.10.2017.

Keinänen, Hanna s.a. Hyvät tutkimustavat betonirakenteisten lattioiden muovipäällysteiden korjaustarpeen arviointiin. PDF-dokumentti. <https://www.rakennustieto.fi/Downloads/RK/RK140602.pdf>. Luettu 4.9.2017.

Kooste toimistoympäristöjen epäpuhtaus- ja olosuhdetasoista (rakennuksissa, joissa on koneellinen ilmanvaihto), joiden ylittyminen voi viitata sisäilmasto-ongelmiin. 2017. Työterveyslaitos. <https://www.ttl.fi/wp-content/uploads/2016/09/sisaympariston-viitearvoja.pdf>. Päivitetty 27.2.2017. Luettu 4.9.2017.

MVOC-yhdisteet. Ositum. <http://www.ositum.fi/>. Luettu 30.8.2017.

OVA-ohje: hiilimonoksidi. 2015. <http://www.ttl.fi/ova/hiilimono.html>. Luettu 6.6.2017.

Photo-ionization detection (PID) Technology. 2013. TSI. Application note TSI-147. <http://www.tsi.com/>. Luettu 5.6.2017.

Salonen, H., Lappalainen, S., Lahtinen, M., Holopainen, R., Palomäki, E., Koskela, H., Backlund, P., Niemelä, R., Pasanen, A.L., Reijula, K. 2011. Toimiston sisäilman tutkiminen. Työterveyslaitos. Helsinki. Tammerprint Oy.

Sisäilman kemikaalit. 2016. Valvira. WWW-dokumentti. <http://www.valvira.fi/ymparistoterveys/terveydensuojelu/asumisterveys/kemikaalit>. Luettu 26.5.2017.

Sosiaali- ja terveysministeriön asetus asunnon ja muun oleskelutilan terveydellisistä olosuhteista sekä ulkopuolisten asiantuntijoiden pätevyysvaatimuksista. 2015. Helsinki. <http://stm.fi/documents/1271139/1408010/Asumisterveysasetus/>

Terveydensuojelulaki. 19.8.1994/763. 26 ja 27 §. <http://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/1994/19940763>. Luettu 7.6.2017.

Uusi sisäilmatutkimusmenetelmä. 2017. Sisäilmatutkimus Broström. <http://www.sisailma.com/uusi-tutkimusmenetelma-1/>. Luettu 17.10.2017.

VOC-näytteenotto-ohje. Mikrobioni. 2017. <http://www.mikrobioni.fi/>. Julkaistu 17.1.2017. Luettu 31.8.2017.

VOC-päästöt s.a. Hengitysliitto. <http://www.hengitysliitto.fi/>. Luettu 6.6.2017.

Viidanoja, Jyrki ja Kotiaho, Tapio. 2005. Kemiaa Kumpulassa: Mikä ihmeen ioniliikkuvuuspektrometria? Helsingin yliopisto, Kemian laitos. <http://www.helsinki.fi/kemma/data/kemiaa-kumpulassa/ioniliikkuvuus.pdf>. Luettu 6.7.2017.

# BIOHIILELLÄ PUHTAAMPI YMPÄRISTÖ JA UUTTA LIIKETOIMINTAA

Niina Laurila & Jussi Heinimö & Hanne Soininen

Metsällä on Etelä-Savon talouteen suuri merkitys, sillä Etelä-Savon pinta-alasta 88 % on metsää. Alueen parempi puuntuotto kyky sekä kehittyvä biotalous ovat tekijöitä, joilla voidaan luoda uutta liiketoimintaa Etelä-Savon alueelle. Energiakäytön lisäksi prosessoinniltaan räätälöidylle korkeamman jalostusasteen biohiilelle on tunnistettu markkinamahdollisuuksia. Biohiilellä puhtaampi ympäristö ja uutta liiketoimintaa Etelä-Savoon -hankkeessa edistetään biohiileen perustuvaa liiketoimintaa kehittämällä ja testaamalla uusia kaupallistettavia biohiilituotteita ja -sovellutuksia. Bioli-hanke on Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulun ja Mikkelin kehitysyritys Miksei Oy:n yhteishanke. Hanketta rahoittaa Etelä-Savon maakuntaliitto Euroopan unionin aluekehitysrahastosta, Metsäsairila Oy ja Suur-Savon Energiasäätiö sr.

## TAVOITTEENA KAUPALLISET SOVELLUTUKSET

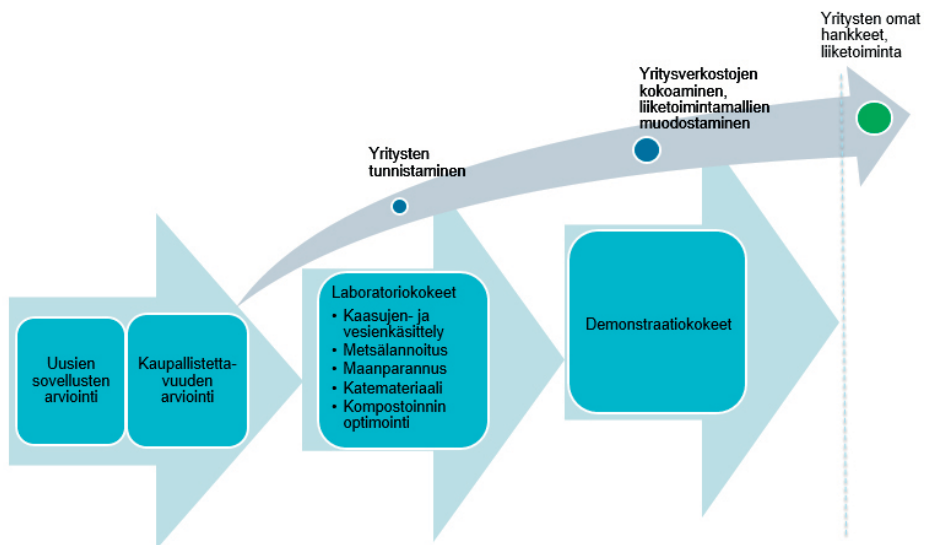
Bioli-hankkeessa tutkimus- ja kehitystyö tehdään ympäristöturvallisuuden sekä kaupallistamismahdollisuuksien kannalta. Tarkastelun kohteena on yli 275 °C lämpötilassa pyrolyysiprosessissa käsitelty biomassa (kuva 1). Parhaimpien sovelluskohteiden testaus aloitetaan Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulun ympäristölaboratoriossa, minkä jälkeen biohiilen testausta jatketaan demonstraatiokokein 2–3 sovellutuksella. Tällä tavoin luodaan konkreettisia edellytyksiä biohiileen perustuvalla uudella liiketoiminnalla. Projektin valmistelun yhteydessä alustavasti tunnistettuja uusia käyttökohteita on löydetty erityyppisten vesien puhdistamisessa sekä maaperän ominaisuuksien parantamisessa.

Bioli-hankkeen toimenpiteitä on esitetty kuvassa 2. Ensimmäisessä toimenpiteessä selvitetään puupohjaisen biohiilen uudet sovelluskohteet sekä arvioidaan näiden uusien sovelluskohteiden kaupallisuus. Tehdyn arvioinnin perusteella valitaan testaukseen ne tuotteet ja sovellukset, joiden kaupallistamismahdollisuudet ovat parhaimmat Etelä-Savon kannalta.





**Kuva 1.** Sekabakkeesta valmistettua bioliiltä (kuva Manu Eloaho).



**Kuva 2.** Bioli-hankkeen toimenpiteet (mukaihen Juha Kauppinen).

## TUOTEINNOVAATIOIDEN TESTAUS LABORATORIOSSA

Tuoteinnovaatioiden testaus aloitettiin laboratoriokokeella, jossa selvitettiin biohiiliprosessissa syntyvien sivutuotteiden sopivuus biokaasulaitoksen raaka-aineeksi. Testattavana oli kaksi eri vaiheessa prosessia syntynyttä tislettä, joiden metaanintuottopotentiaali selvitettiin 28 vuorokauden panoskokeella. Laboratoriossa on testattu myös biohiilen soveltuvuutta kaatopaikan suotovesien ja pihattonavetan jaloittelualueen vesien ravinteiden poistossa. Testattavana on sekä kuusesta että koivusta valmistettua biohiiltä. Hankkeessa on testattu myös biohiilen käyttöä katemateriaalina. Tätä tuoteinnovaatiota esiteltiin kesällä asuntomessuilla Mikkelissä. Tällä hetkellä biohiilikatekoe jatkuu Mikkelipuiston Xamkin Kaski-kohteessa (kuva 3).



**Kuva 3.** Katebiohiilen esittelyä Mikkelipuiston Xamkin Kaski-osastolla (kuva Niina Laurila).

Tuoteinnovaatioiden testaukseen valittiin myös innovaatio, jossa biohiiltä käytetään metsälannoitteena. Kokeissa biohiilen lannoitevaikutusta on testattu kuusen taimiin. Tämän tuoteinnovaation osalta testaus suuremmissa demonstraatiokokeissa on jo aloitettu (kuva 4). Biohiilen lannoitevaikutusta testataan karussa paksuturpeisessa suomaastossa sekä tuoreessa kangasmaastossa. Lannoitevaikutusta seurataan maa- ja neulasnäyttein.



*Kuva 4. Biobiilestä uutta potkua puuston kasvuun (kuva Niina Laurila).*

Seuraavaksi laboratorikokeissa selvitetään biohiilen vaikutusta maanparannukseen. Tavoitteena on parantaa mullan ominaisuuksia, sillä biohiili sitoo vettä, parantaa kationinvaihtokykyä eli sitoo ravinteita sekä parantaa ilmavuutta maassa. Hankkeessa selvitetään myös, miten biohiilen lisäys vaikuttaa kompostointiprosessiin. Biohiilen lisäyksellä on todettu olevan kompostointia nopeuttava vaikutus. Tämän lisäksi biohiili pystyy neutralisoimaan kompostin hajuhaittoja.

Biohiilen käyttöä kaasujen puhdistuksessa tutkitaan myös hankkeessa. Biohiilen ominaispinta-ala ja huokoisuus kasvavat, kun hiilen valmistuslämpötilaa nostetaan. Biohiilen kykyä poistaa epäpuhtauksia testataan kaatopaikalla muodostuvan raakakaasun sisältämiin epäpuhtauksiin sekä biokaasulaitoksen poistokaasuihin. Laboratorikokeiden jälkeen biohiilellä jatketaan testausta 2–3 lupaavimmalla tuoteaihiolla suuremmassa skaalassa.

## **HANKKEELLA UUTTA LIIKETOIMINTAA**

Biohiililiiketoiminnan kehittäminen ja kaupallistamisen valmistelu aloitetaan jo testauksen ollessa käynnissä. Hankkeessa tunnistetaan ja kootaan uusien tuotteiden ja sovellusten kaupallistamisessa tarvittavia (yritysvetoisia) toimijaverkostoja ja valmistellaan kaupallistamisen seuraavassa vaiheessa muulla kuin hankkeen rahoituksella toteutettavia toimenpiteitä (kuten feasibility study -tutkimukset, kehitys- tai tuotekehityshankkeet).

Hankkeen pitkän aikavälin tuloksena Etelä-Savon alueelle syntyy uutta biohiilituotteisiin liittyvää liiketoimintaa, jolla on myös yhteiskunnallista vaikutusta muun muassa työpaikkojen lisääntymisen kautta. Vesiensuojelu, metsätalous ja viherrakentaminen kehittyvät ja tehostuvat uusien tuoteinnovaatioiden myötä. Hanke edistää Etelä-Savon pyrkimystä vähähiilisyteen, kun fossiilisia raaka-aineita aletaan korvata biomassapohjaisilla raaka-aineilla. Hankkeen jälkeen lupaavimpien tuoteaihioiden kaupallistamisen valmistelu jatkuu yritysve-toisena joko uusien yritysten toimesta tai olemassa olevien yritysten uutena liiketoimintana.

# ETEVÄT-HANKKEELLA ENERGIA-TEHOKKUUTTA JA KUSTANNUS-SÄÄSTÖJÄ ETELÄSAVOLAIISIIN PK-YRITYKSIIN

Riikka Tanskanen & Auli Haapainen-Liikanen & Sauli Kuparinen

Energiatehokkuuden edistäminen eteläsavolaisissa pk-yrityksissä -hankkeessa (Etevät, 1.1.2017–31.12.2018) pyritään edistämään alueen pienten ja keskisuurten (Pk) yritysten energiatehokkuutta ja uusiutuvien energiamuotojen käyttöä sekä luomaan energiankulutuksen tehostumisen myötä kustannussäästöjä. Hankkeessa luodaan pk-yrityksille kevennetty energiakatselmuksen malli ja Etevät-portaali, joiden avulla voidaan kevennetysti katselmoida yrityksen energiankulutusta ja havaita potentiaalisia säästömahdollisuuksia sähkön, lämmön ja veden käytön osalta. Lisäksi pk-yrityksille tuotetaan tietoa siitä, miten ne pystyvät kustannustehokkaasti ottamaan käyttöön uusiutuvia energiamuotoja omassa toiminnassaan. (Tanskanen & Soininen 2017, 1679–1680)



*Kuva 1. Etevät-hankkeen virallinen kuva (kuva Manu Eloaho 2017).*

## **ENERGIATEHOKKUUDEN PARANTAMISEEN TÄHTÄVÄÄ UUTTA PALVELULIIKETOIMINTAA**

Etevät-hankkeen keskeisessä asemassa on siinä luotava portaalisovellus, jonka tarkoituksena on palvella alueen pk-yrityksiä myös tulevaisuudessa energiatehokkuuden parantamiseksi. Portaalien kautta on tarkoitus saada tietoa oman energiatehokkuuden edistämisen mahdollisuuksista, konkreettista apua tarvittaviin energiatehokkuutta parantaviin toimenpiteisiin, tietoa uusiutuvien energialähteiden käyttöönoton mahdollisuuksista ja kannattavuudesta sekä mahdollisuuden vertailla omaa energiankulutusta muihin yrityksiin. Portaalien uutuusarvo on siihen kehitettävässä interaktiivisuudessa, jolloin tulevaisuudessa portaalien käyttävä yritys pystyisi hankkimaan tarvitsemiaan palveluja portaalien välityksellä. Portaalien avulla yhdistää alueen pk-yritykset energiatehokkuuden edistämiseksi avustavien palveluntarjoajien kanssa. Portaalista pyritään luomaan helppokäyttöinen tulevia asiakkaita eli alueen pk-yrityksiä ajatellen. Tavoitteena on saada portaalille pääkäyttäjäksi yritys, joka vastaisi palvelun toimivuudesta myös hankkeen päättymisen jälkeen.

Käytännössä Etevät-portaali mahdollistaa yritysten energiakatselmoinnin toteutuksen sekä toteutettujen muutosten ja toimenpiteiden vaikuttavuuden seurannan. Energiankulutuksen tarkastelussa ja analysoinnissa tehtyjen havaintojen perusteella tarvittavia mittauksia ja tarkastuksia voidaan kohdentaa suoraan niihin laitteisiin ja toimintoihin, joiden voidaan olettaa sisältävän energiansäästöpotentiaalia katselmoitavassa pk-yrityksessä. Etevät-hankkeessa ei kuitenkaan katselmoida varsinaisia prosessi- tai tuotantolaitteita, mutta tuotantoa tukevat laitteistot sekä kiinteistöt kuuluvat tarkasteltavaan kokonaisuuteen.

Etevät-hankkeessa luotavan energiakatselmuksellisen ja portaalien tavoitteena on mahdollistaa pk-yrityksille kevennetty ja kustannustehokas tapa energiatehokkuuden tarkasteluun ja analysointiin. Lakisääteisesti isoilla yrityksillä on energiatehokkuuslain (1429/2014), valtioneuvoston asetuksen (20/2015) ja työ- ja elinkeinoministeriön asetuksen (41/2015) nojalla velvollisuus suorittaa määräajoin energiakatselmuksia. Pk-yritykset voivat toteuttaa vapaaehtoisia, Työ- ja elinkeinoministeriön (TEM) tukemia Motivan mallin mukaisia energiakatselmoituksia (Motiva 2017a) ja halutessaan liittyä vapaaehtoiseen energiatehokkuussopimukseen (Motiva 2017b). Käytännössä Motivan mallin mukaisesti toteutettava energiakatselmointi on kattava ja perusteellinen selvitys yrityksen energian käytöstä ja siihen liittyvistä kannattavista tehostamismahdollisuuksista. Ongelmana perinteisessä energiakatselmoinnissa ovat sen toteutukseen liittyvät kustannukset ja toteutuksen työläisyys. Erityisesti pienet yritykset jäävät käytännössä perinteisen Motivan mallisen energiakatselmointitoiminnan ulottumattomiin, vaikka niissä on muiden yritysten tavoin potentiaalia parantaa energiatehokkuutta. Etevät-hankkeessa pyritään madaltamaan Etelä-Savon alueen pk-yritysten kynnystä edistää omaa energiatehokkuuttaan ja vähähiilisyytään.

## ETELÄ-SAVON PK-YRITYKSET MUKANA HANKKEEN TOTEUTUKSESSA

Etevät-hankkeen toteutus tehdään yhteistyössä Etelä-Savon alueella toimivien yritysten kanssa, ja hankkeessa tarkastellaan metallialan, painoalan, puunjalostusteollisuuden, ravintola- ja majoitusalan, autokorjaamo- ja -huoltamoalan, elintarviketeollisuuden ja kaupan alan kohdeyritysten energiatehokkuutta. Tätä artikkelia kirjoitettaessa Etevät-hankkeessa oli mukana yhteensä 14 kohdeyritystä, kaksi jokaiselta tarkastellulta toimialalta. Maakunnallisesti ajatellen Etevät-hankkeessa mukana olevat yrityskohteet sijaitsevat Juvan, Kangasniemen, Mikkelin, Mäntyharjun, Puumalan, Rantasalmen, Savonlinnan, Pertunmaan ja Pieksämäen kunnissa.

Etevät-hankkeessa luotavaa kevennettyä energiakatselmoinnin mallia sekä portaalia pystytään kehittämään yhteistyössä hankkeessa mukana olevien kohdeyritysten kanssa. Samalla hankkeeseen lähteneiden yritysten energiatehokkuutta katselmoidaan ja pyritään tehostamaan löytämällä kannattavia, konkreettisia säästömahdollisuuksia. Hankkeessa pystytään toteuttamaan käyttökäytännöitä, kuten säätöihin perustuvia, toimenpiteitä energiatehokkuuden edistämiseksi. Investointeja vaativista toimenpiteistä vastaavat ja päättävät kohdeyritykset itse, mutta ne saavat tietoa päätöksenteon tueksi energiatehokkuutta ja vähähiilisyttä edistävien investointien kannattavuudesta, takaisinmaksuajasta sekä tuettavuudesta (Tekes 2017). Kokonaisuudessaan Etevät-hankkeen aikana toteutettujen toimenpiteiden vaikutukset energiatehokkuuteen pystytään todentamaan ja osoittamaan muutoksina kulutuksessa.

Etevät-hankkeen yhteistyöyrityksissä aloitetuissa tarkasteluissa esiin nousseiden asioiden perusteella hankkeessa tarkastellaan energiatehokkuuden parantamisen osalta ainakin ilmanvaihdon toiminnan optimoinnin vaikutuksia, LED-valaistuksen kannattavuutta ja käyttömahdollisuuksia, paineilmajärjestelmän toiminnan tarkastuksia, purun- ja pölynpoistojärjestelmien optimointia, ilmalämpöpumppujen käyttömahdollisuuksia, rakenteiden vaikutusta energiatehokkuuteen, aurinkosähkön käyttömahdollisuuksia ja kannattavuuslaskelmia, erilaisia lämmitysjärjestelmien tarkastuksia, optimointeja ja muutosmahdollisuuksia, taajuusmuuttajakäyttöjen soveltamismahdollisuuksia erityisesti pumppauksessa sekä loistehon kompensointia. Jokaisella Etevät-hankkeeseen mukaan lähteneellä yhteistyöyrityksellä on omia toiveita ja tavoitteita energiatehokkuuden parantamiseen tai vähähiilisyden lisäämiseen liittyen. Yhteistyöyritykset ovat lähteneet innokkaasti mukaan hankkeeseen, ja niillä on aito kiinnostus kehittää omaa energiatehokkuuttaan.

Etevät-hankkeessa pyritään myös osoittamaan, ettei energiatehokkuuden parantaminen aina vaadi varsinaisia investointeja, eikä energiatehokkuuden nimissä ole tarkoitus poistaa mitään toiminnalle, tuotteille tai palveluille lisäarvoa tuottavia tekijöitä. Hankkeessa luotavien tulosten toivotaan kannustavan myös muita Etelä-Savon alueen yrityksiä energiatehokkuuden parantamiseen, mikä tukisi myös heidän liiketoimintansa kannattavuutta.

Etevät-hanketta toteuttaa Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu, ja hanketta rahoittavat Etelä-Savon ELY-keskus Euroopan aluekehitysrahastosta, Suur-Savon Sähkö Oy, Etelä-Savon Energia Oy ja Lumme Energia Oy. Etevät-hanke jatkuu vuoden 2018 loppuun saakka, ja sen lopulliset tulokset ovat saatavilla vuoden 2018 lopulla. Kaikista hankkeen tuloksista tiedotetaan kohdennetusti Etelä-Savon alueen pk-yrityksille sekä laajemmin myös oman hankejulkaisun välityksellä. Osatuloksia julkaistaan myös hankkeen kotisivuilla ([www.xamk.fi/etevat](http://www.xamk.fi/etevat)) hankkeen edetessä.

## LÄHTEET

Energiatohokkuuslaki 1429/2014.

Motiva 2017a. Katselmus- ja investointituet. Päivitetty 7.3.2017. [https://www.motiva.fi/ratkaisut/energiakatselmustoiminta/tem\\_n\\_tukemat\\_energiakatselmukset/katselmus-\\_ja\\_investointituet](https://www.motiva.fi/ratkaisut/energiakatselmustoiminta/tem_n_tukemat_energiakatselmukset/katselmus-_ja_investointituet).

Motiva 2017b. Energiatohokkuussopimukset. Päivitetty 19.6.2017. <https://www.motiva.fi/ratkaisut/energiatohokkuussopimukset>.

Tanskanen, R. & Soininen, H. 2017. Promoting Energy Efficiency in Finland South Savo Region's Small and Medium-Sized Enterprises. Teoksessa Ek, L. et al. (toim.) Papers of the 25th European Biomass Conference. Florence: ETA-Florence Renewable Energies, 1679–1680.

Tekes 2017. Energiatuki. <https://www.tekes.fi/rahoitus/pk-yritys/energiatuki/>. Luettu 27.10.2017.

Työ- ja elinkeinoministeriön asetus kohdekatselmusten raportoinnista (41/2015).

Valtioneuvoston asetus energiakatselmuksista 20/2015.



# VUOTOVESIEN HAVAINNOINTI JÄTEVEDEN JOHTOKYKY- JA LÄMPÖTILAMITTAUKSIN

Riina Tuominen & Sami Kaipainen

Vuotovedet kasvattavat viemäriverkoston vesimassaa. Määrän kasvu ja jäteveden ominaisuuksien muuttuminen vaikuttavat jätevesien puhdistusprosessiin. Lisäksi vuotovedet kuluttavat turhaan energiaa, sillä pääosin ne ovat vesiä, jotka eivät vaadi puhdistusta.

Jätevesiverkoston vuotovesien määriä, vuotovesien muodostumista sekä niiden vaikutusta laitosten energiankulutukseen selvitettiin Esiselvitys Etelä-Savon vesihuoltolaitosten vuotovesistä – vähähiilisyiden edistämiseksi -hankkeessa (VEVO). Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulun hanketta rahoittivat Etelä-Savon ELY-keskus Euroopan unionin aluekehitysrahastosta (EAKR 2014–2020) sekä Mikkelin Vesilaitos, Savonlinnan Vesi ja Pieksämäen Vesi Oy.

Hankkeen pyrkimyksenä oli löytää kustannustehokkaita menetelmiä jätevesiverkoston vuotovesien havainnointiin. Jätevesiverkoston lähtötietojen analysoinnilla ja vesilaitosten omien mittausten avulla voidaan löytää viemäriinjoja, joihin tarvittaessa kohdennetaan tarkempia tutkimuksia.

## MITÄ OVAT VUOTOVEDET JA MITEN NE VAIKUTTAVAT?

Vuotovedet muodostuvat joko pohja- tai hulevesistä. Varsinainen vuotovesi on pohja- ja vajovesistä putkistoon imeytyvää vettä ja hulevuotovesi puolestaan pintavaluntavedestä muodostuvaa vuotovettä. Vuotovesiä pääsee viemäriverkoston muun muassa rikkoutu-neiden putkien, huokoisten putkenseinämien, viallisten putkiliitosten tai vioittuneiden tarkastuskaivojen tai -putkien kautta. (Forss 2005)

Kaupunkiympäristössä vuotovedet muodostuvat usein sade- ja sulamisvesistä eli hulevesistä. Hulevesien vähentämällä ja viivyttämällä voidaankin vähentää myös viemäriverkoston vuotovesien määrää.

Vuotovesien määrä on suurimmillaan voimakkaiden sateiden sekä lumen sulamisen aikaan. Vuotovedet kuormittavat turhaan jätevesijärjestelmiä, vaikeuttavat puhdistusprosessia, lisäävät prosessin energiankulutusta ja voivat pahimmassa tapauksessa aiheuttaa ylivuotoja

jätevedenpumppaamoilla ja -puhdistamoilla. Tämä saattaa johtaa ympäristön pilaantumiseen tai aiheuttaa terveysriskin.

## **VIUOVESIEN VÄHENTÄMINEN**

Viemäriverkoston vuotoveden määrään vaikuttavat verkoston putkien ja putkiliitosten materiaalit ja kunto, asennusten laatu, maaperän ominaisuudet, pohjaveden pinnan korkeus, erilaiset maanpäälliset rakennusmateriaalit sekä hulevesien yleinen käsittely. Rakennetussa ympäristössä vuotovedet muodostuvat usein sade- ja sulamisvesistä eli hulevesistä. Hulevesien hallinnalla voidaan vähentää myös viemäriverkoston vuotovesien määrää. Syntyneitä hulevesiä voidaan viivyttää, imeyttää maaperään tai hyödyntää niiden syntypaikalla. Lisäksi kaupunkialueiden päällystetyiltä pinnoilta peräisin olevat hulevedet voivat sisältää erilaisia haitallisia aineita, joita voidaan vähentää suodattamalla, laskeutumalla ja sitouttamalla niitä kasvillisuuteen. (Karttunen 2004, SYKE 2016)

Hulevesien hallintamenetelmät voidaan jakaa menetelmiin, jotka tähtäävät niiden vähentämiseen, käsittelyyn, viivyttämiseen tai johtamiseen. Hulevesien syntyä voidaan vähentää esimerkiksi kasvillisuuden avulla, kuten vettä käyttävien ja haihduttavien viherkattojen avulla. Imeyttämällä ja viivyttämällä tasataan hulevesien vesikuormaa ja voidaan näin myös ehkäistä tulvien syntymistä. Viimeisenä keinona käyttöön voidaan ottaa hulevesien johtaminen pois syntyalueeltaan. Onnistunut hulevesien hallinta edellyttää niiden huomiointia maankäytön suunnittelussa ja tonttien rakentamisvaiheessa. (SYKE 2016)

Mikäli jätevesiverkostossa kuitenkin esiintyy virtaushuippuja, niiden tasaamiseksi voidaan rakentaa varo- tai tasausallas. Altaiisiin voidaan säilöä jätevetä ja käsitellä se sieltä edelleen tasaisena virtauksena, jolloin myös puhdistusprosessi toimii paremmin.

Vuotovesimäärien vähentämiseksi tärkeimpänä tavoitteena on kauttaaltaan vuotamaton jätevesiverkosto. Tavoitteen saavuttamiseksi pyritään jätevesiverkosto pitämään niin hyvässä kunnossa kuin se on taloudelliset resurssit huomioiden mahdollista. Verkoston kuntoa voidaan seurata erilaisin tutkimuksin, joihin myös verkoston saneeraussuunnitelma voidaan perustaa.

Vuotovesitutkimusmenetelmän valintaan vaikuttaa se, minkä tyyppisiä vuotoja tutkittavalta alueelta oletetaan alustavien tutkimusten perusteella löytyvän. Verkoston toimivuudesta saadaan paljon tietoa normaalin käytön ja tarkkailun yhteydessä. Suurimmat mahdollisuudet kustannustehokkaaseen vuotoveden havainnointiin vaikuttaisivatkin olevan jätevesiverkoston tietojen ja ympäristön olosuhteiden kokonaisvaltaisella analysoinnilla. Näin voidaan havaita jo pienetkin muutokset järjestelmän toiminnassa ja analysoida niiden aiheuttajat.

Tutkimus on nykyään suuntautunut yhä enemmän laatuparametreihin ja verkoston käytön ja toiminnan yhteydessä tallentuvien tietojen analysointiin, joiden avulla vuotavia viemä-

riisuuksia voidaan rajata alustavasti. Viemäriverkoston varsinaisia vauriokohtia näillä ei kyetä paikantamaan, vaan tutkimuksiin tarvitaan esimerkiksi savukokeita tai putkistojen kuvausta.

## VUOTOVESIEN MONITOROINTI JOHTOKYKYMITTAUKSIN

Vuotovesien on todettu vaikuttavan jäteveden lämpötilaan sekä sähkönjohtavuuteen. Yhdyskuntajäteveden tyypillinen sähkönjohtavuusarvo on kuivana aikana 100–140 mS/m. Sähkönjohtavuuden arvot pinta- ja pohjavesissä ovat tyypillisesti 3–10 mS/m. (Oravainen 1999.) Jätevesien lämpötila korreloi yleensä veden sähkönjohtavuuden kanssa, eli kun sähkönjohtavuus on suuri, myös lämpötila on korkea. Erityisesti lumien sulamisvesi on viileämpää kuin jätevesi, joten sulamisvesien pääsy viemäriin näkyy jäteveden lämpötilojen laskuna.

VEVO-hankkeessa suoritetuilla testauksilla haluttiin selvittää, voidaanko viemäriverkoston vuotavia linjoja havaita pelkästään näiden parametrien avulla. Hankkeessa pyrittiin löytämään uusia innovaatioita sekä online-mittausteknologiaa vuotovesien havainnointiin. Hankkeessa testattiin online-mittausteknologiaa YSI 6820-V2-1 -sondilla. Kyseinen malli soveltuu käytettäväksi sisä-, meri- ja saastuneiden vesien monitorointiin. Testaus toteutettiin Mikkelin Vesilaitoksen verkoston jätevedenpumppaamossa.

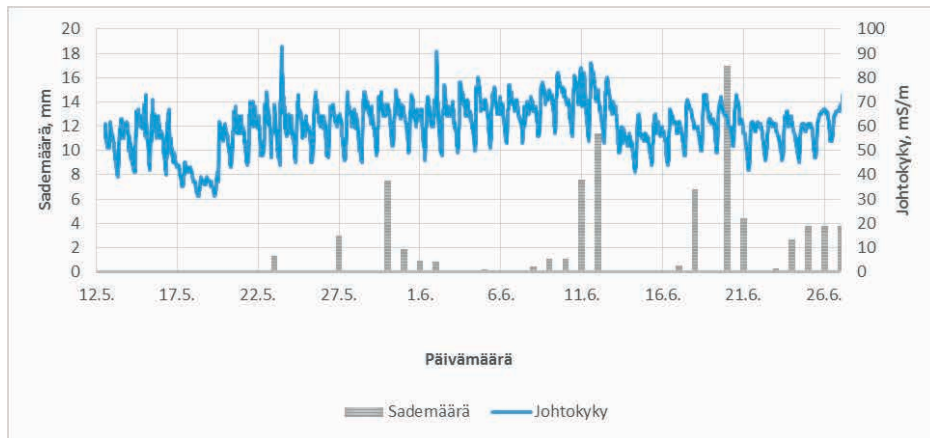
Tutkimuskohteesta mitattiin veden sähkönjohtokykyä ja lämpötilaa. Sondin mittausjakson 12.5.–27.6.2017 aikana sondi puhdistettiin kaksi kertaa sen likaannuttua. Sondin likaantuminen näkyi erityisesti sähkönjohtavuuden mittaustuloksissa, jotka alkoivat likaantumisen myötä ”ryömimään”, eikä vuorokautista vaihtelua ollut havaittavissa. Toisella puhdistuskerralla sondiin asennettiin kupariverkko (kuva 1), joka mittaustulosten perusteella piti sondin puhtaana.



*Kuva 1. YSI-sondin johtokykyanturiin laitettiin kupariverkko (kuva Riina Tuominen).*

Mittausten päättyessä sondi itsessään ei ollut kovin likainen, eikä varsinaista biofilmin kerääntymistä ollut havaittavissa, mutta kuparisukka oli tummunut mittausten aikana ja varsinkin kiinnitysketjuun oli tarttunut irtoroskia.

Sondi asetettiin mittaamaan jäteveden johtokykyä ja lämpötilaa 30 minuutin välein. Johtokykyntuloksissa on selvästi havaittavissa vuorokauden aikainen mittaustulosten vaihtelu. Tarkkailujaksolla oli kaksi jaksoa, joiden aikana vuotovesien vaikutus näkyi mittaustuloksissa (kuva 2).

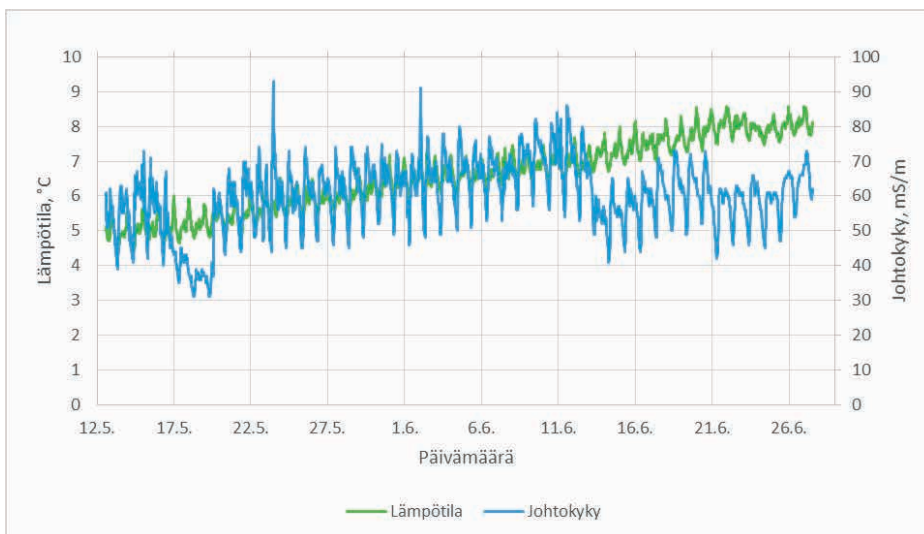


**Kuva 2.** Mittausjaksolla 12.5.–27.6.2017 mitatut jäteveden johtokykyarvot ja alueen sademäärä.

Ensimmäinen selvä johtokykyttöisyyden aleneminen tapahtui 11.–12.6.2017 olleen sadejakson jälkeen. Ajalla 8.–12.6.2017 viiden vuorokauden yhteenlaskettu sademäärä oli 21,6 mm. Jakson alkupäivät (8.–10.6.2017) olivat vähäsateisia, sademäärä oli 0,4–1,1 mm/vrk. Päivistä runsassateisin oli 12.6.2016, jolloin sadetta kertyi 11,4 mm. (Ilmatieteen laitos.) Johtokykyarvo aleni keskimääräisestä 70 mS/m arvosta sateen jälkeen hetkeksi keskimääräiseen arvoon 56 mS/m.

Toinen johtokykyttöisyyden aleneminen mittausjaksolla tapahtui 17.–21.6.2017 olleen sadejakson jälkeen. Sadetta kertyi ajanjaksolla yhteensä 28,7 mm. Päivistä runsassateisin oli 20.6.2016, jolloin sademäärä oli 17 mm. Johtokykyarvo aleni keskimääräisestä 60 mS/m arvosta sateen jälkeen hetkeksi keskimääräiseen arvoon 57 mS/m.

Jäteveden lämpötiloihin ei sademäärällä ollut näkyvää vaikutusta mittausjakson aikana. Mittausjakson aikana johtokykyssä havaittavat vaihtelut eivät näy yhtä selvästi lämpötila-arvoissa. Sadejaksojen jälkeen, jolloin jäteveden johtokyky alenee, lämpötilassa ei juuri tapahdu muutosta (kuva 3).



**Kuva 3.** Mittausjaksolla 12.5.–27.6.2017 mitatut jäteveden johtokyky- ja lämpötila-arvot.

Suoritetussa mittauksessa havaittiin jäteveden johtokyvyn vaihtelevan välillä 39–93 mS/s. Kaikkein alhaisimmat tulokset ajalla 17.–19.5.2017 johtuivat sondin likaantumisesta, eikä niitä tule huomioida tuloksia analysoidessa. Johtokykyarvoissa oli selvästi havaittavissa vuorokautinen vaihtelu; arvot pienenivät yöllä ja kasvoivat päivällä. Mittausjakson aikana johtokykyarvot kasvoivat kevään edistyessä, mutta pienenivät sateen vaikutuksesta kahdesti. Koska touko-kesäkuun vaihteen sadepäivillä ei ollut vaikutusta arvoihin, sateen intensiteetti todennäköisesti vaikuttaa vuotovesien pääsyyn viemäriin. Lisäksi on huomioitava, että sadetiedot koskevat Mikkeliä, ja koska mittauspiste sijaitsee noin seitsemän kilometrin etäisyydellä, sademäärässä voi olla alueellista eroa.

Vuodenaika vaikuttaa jäteveden lämpötilaan; talvella vesi on kylmempää kuin kesällä. Lisäksi lämpötilaan vaikuttavat muun muassa verkoston sijainti ja pituus sekä vuoto- ja sulamisvesien määrä. Kun jäteveden sähkönjohtavuus on sille tyypillisellä tasolla, sen lämpötila on yleensä korkeampi kuin sähkönjohtavuuden ollessa tavallista alhaisempi. Jos mittaukset suoritetaan lumen sulamisajankana, viittaa alhainen lämpötila sulamisvesien pääsyyn viemäriin.

Tehdyissä mittauksissa ei vuotovesien mahdollista esiintymistä voitu päätellä lämpötila-arvojen pohjalta. Testauksessa saadut lämpötilat vaihtelivat välillä 4,4–8,6°C. Lämpötilat kohosivat mittausjakson aikana alkujakson ensimmäisen mittausviikon keskimääräisestä 5°C lämpötilasta loppujakson viimeisen mittausviikon keskimääräiseen 8°C lämpötilaan.

VEVO-hankkeessa testattiin myös vuotovesien havainnoimiseksi jäteveden kenttämittauksia YSI Pro-30 -vedenlaatumittarilla, jolla voidaan mitata veden johtokykyä ja lämpötilaa. Mittauksiin valittiin kymmenen mittauspistettä, joista yhdeksän oli kaivoja ja yksi pumpaamo. Mittauksissa määritettiin mittauspisteistä viemäriveden lämpötila ja johtokyky. Mittauksessa mittarin anturi laskettiin kaivon pohjalle, ja mittarin tulokset voitiin lukea mittarin käsinäytöstä (kuva 4).



*Kuva 4. Lämpötilan ja johtokyvyn mittaus kaivosta YSI Pro-30 -mittarilla (kuva Riina Tuominen).*

Mittauksessa saadut lämpötila-arvot vaihtelivat välillä 9,9–17,9°C. Mitatut johtokykyarvot olivat välillä 46–90 mS/m. Mittauspisteissä mitatut arvot ovat nähtävissä tarkemmin taulukossa 1.

**Taulukko 1.** Mittauksessa saadut lämpötila- ja johtokykyarvot

MITTAUSPISTE	LÄMPÖTILA, C°	JOHTOKYKY, mS/m
1	9,9	64
2	11,9	87
3	11,1	46
4	11,4	66
5	11,3	74
6	17,9	67
7	12,3	62
8	12,6	47
9	14,6	90
10	12,4	61

Mitattujen johtokykyarvojen osalta vaikuttaisi siltä, että kaivojen 3 ja 8 kohdalla verkostossa on mukana myös vuotovesiä. Mittaus tehtiin suhteellisen sateettomaan aikaan, mikä vaikeuttaa vuotovesien havainnointia. Tehdyissä mittauksissa ei lämpötila-arvojen pohjalta saatu vuotovesien mahdollista vaikutusta näkyviin. Lämpötilojen muutokset olisivatkin selvemmin havaittavissa sulamisvesien aikaan.

Mittaukset suoritettiin yhden päivän aikana. Mittauspäivän sääolosuhteilla on huomattava vaikutus vuotovesien määrään. Mittauspäivänä sää oli pilvinen ja sumuinen, mutta viimeisin sadejakso alueella oli 19.–22.9.2017, jolloin sadetta saatiin yhteensä 4,3 mm (Ilmatieteen laitos). Mittaukseen valituilla pisteillä liikkui lähinnä asuntoalueiden jätevesiä. Osassa mittauspisteitä on mukana myös teollisuuden ja huoltoasemien jätevesiä.

Taustatietojen, kuten pumppaamojen käyntiaikojen, avulla voidaan haarukoida tarkempaa tutkimusta vaativia alueita. Kaivokohtaisilla johtokyvyn ja lämpötilan mittauksilla saadaan verkostosta tarkempaa tietoa. Jos mittaukset suoritetaan riittävän tiheästi, on mahdollista myös havaita vuotavampia linjaosuuksia kaivojen välillä. Mittarin käyttö on suhteellisen helppoa ja nopeaa. Hankkeessa suoritettujen yksittäisten mittauksen perusteella ei voida tehdä luotettavia johtopäätöksiä vuotovesien esiintymisestä. Lisäksi pelkkien mittaustulosten perusteella ei muutoinkaan voida osoittaa verkoston vuotavia kohtia. Mittaustietojen kerääminen pidemmältä aikaväliltä sekä muiden saatavissa olevien tietojen yhdistäminen niihin auttaa johtopäätösten teossa.

Testausten perusteella jäteveden johtokyvyn mittaus on hyvä lisä vuotovesien havainnointiin. Vaikka mittauksella ei voida määrittää tarkkoja vuotokohtia, tulokset antavat viitteitä vuotavimmista linjoista. Kenttämittauksella saadaan tarkempaa tietoa viemäriverkoston useista eri mittauspisteistä. Jatkuvatoiminen mittari taas antaa useita mittaustuloksia pitkältäkin aikaväliltä, mutta vain yhdestä mittauspisteestä kerrallaan.

## **LÄHTEET**

Forss, A (toim.). 2005. Vesihuollon verkostojen ylläpidon perusteita. Vesi- ja viemäri- ja viemäri- ja viemäri- ja viemäri-yhdistys. Tampere.

Karttunen, E. 2004. Vesihuolto 2. Suomen Rakennusinsinöörien liitto ry, Helsinki.

Oravainen, R. 1999. Vesistötulosten tulkinta -opasvihkonen. <http://kvvy.fi/wp-content/uploads/2015/10/opasvihkonen.pdf>

SYKE. 2016. Hulevesien hallinnan kehittäminen. <http://www.ymparisto.fi/hulevedet>



# MATKAILUN HIILIJALANJÄLKI

Riina Tuominen & Eeva Koivula

Matkailijoita, jotka ostopäätöksiä tehdessään vertailevat yritysten ja tuotteiden hiilijalanjälkeä, on toistaiseksi melko vähän. Hiilidioksidipäästöjen vähentämisen välttämättömyys nousee kuitenkin tulevaisuudessa yhä useamman matkailijan tietoisuuteen ja alkaa vaikuttaa myös ostopäätöksiin. Ympäristötietoisuuden lisääntyminen vaikuttaa matkailijoiden kulutustottumuksiin, ja esimerkiksi lähimatkailu voi tästä syystä kasvaa. Yritysten ympäristövastuusta voi tulla merkittävä kilpailuetu myös matkailussa.

Yrityskohtaiset hiilijalanjälkilaskennat antavat hyödyllistä tietoa matkailuyritysten hiilijalanjäljen muodostumisesta, mutta vähennysten toteuttamiseksi laajemman kokonaiskuvan selvittäminen on välttämätöntä. Matkailun päästöt syntyvät pääosin matkustuksesta kohteeseen, majoituksesta ja aktiviteeteista. Kohti vastuullista matkailua -hankkeessa pyritään hiilijalanjälkilaskennan avulla löytämään suurimmat Etelä-Savon matkailun kasvihuonekaasupäästöjen aiheuttajat. Hankkeen toteutettavat yhteistyössä Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu, Helsingin yliopiston Ruralia-instituutti sekä Itä-Suomen yliopisto, ja sitä rahoittavat Etelä-Savon maakuntaliitto Euroopan unionin Euroopan aluekehitysrahastosta sekä hankkeeseen osallistuvat yritykset ja Ekoneum ry.

## HIILIJALANJÄLKILASKENTA

Hiilijalanjäljen avulla kuvataan tuotteen, palvelun tai toiminnon aiheuttamaa ilmastokuormaa sen koko elinkaaren aikana. Laskennassa voidaan käyttää useita erilaisia määrittelyjä ja rajoituksia. Laskentamenetelmissä on eroja lähinnä siinä, mitkä kasvihuonekaasut huomioidaan, miten tarkastelu rajataan ja mitkä elinkaarivaiheet sisällytetään mukaan laskentaan. Hiilijalanjälki ilmaistaan usein hiilidioksidiekvivalenttina (CO<sub>2</sub>-ekv), joka kertoo tarkasteltavien kasvihuonekaasujen vaikutukset ilmastonmuutokseen yhdellä luvulla. Laskennan avulla nähdään, mistä päästöt tulevat ja missä niitä voidaan vähentää. Lisäksi laskennan avulla voidaan seurata vähentämistoimenpiteiden tuloksia.

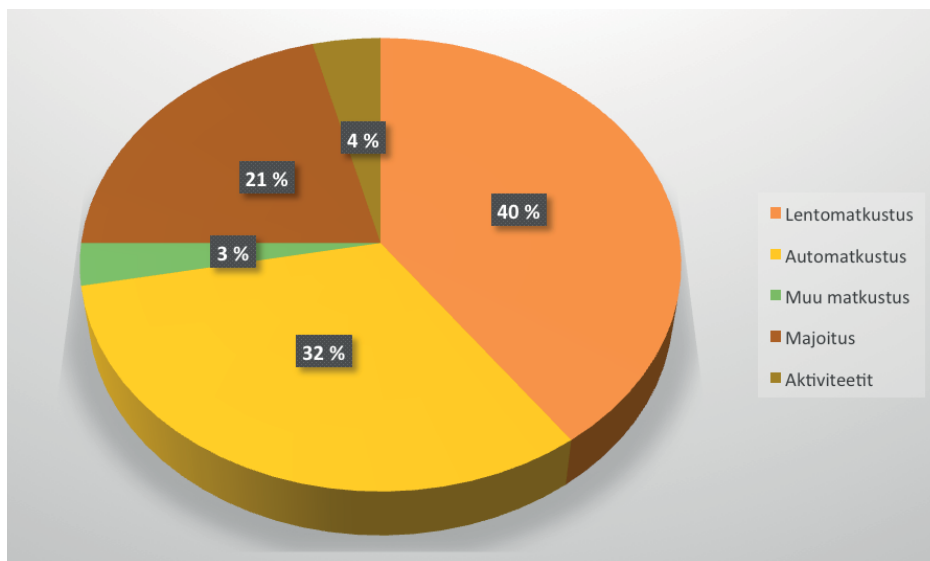
Hiilijalanjälkeä laskettaessa on mietittävä tarkoin mukaan otettavat tarkasteltavat suureet. Laskennan tarkoituksena onkin antaa käyttäjälle mahdollisuus tehdä saatavissa olevien tietojen perusteella arvio suorista ja epäsuorista kasvihuonekaasupäästöistä. Matkailussa suorat päästöt muodostuvat muun muassa fossiilisten polttoaineiden poltosta, kuten energiankulutuksesta kohteessa ja matkustuksesta. Epäsuorat päästöt koostuvat esimerkiksi yleisesti käytettyjen tuotteiden koko elinkaaren päästöistä. Laskurit eivät anna tarkkoja arvoja, sillä laskettaessa joudutaan yleensä tekemään rajoituksia ja arvioita myös lähtötietoihin. (Rantsi 2011, Serrano-Bernardo ym. 2012)

Laskurit eivät yleensä tarjoa myöskään neuvoja päästöjen pienentämiseksi. Laskentatyökaluihin sisällytetyt ohjeistukset päästöjen vähentämisestä auttaisivat osaltaan kuluttajia tunnistamaan vähäpäästöisiä toimintamalleja. (Ryynänen ym. 2012)

## MATKAILUN HIILIJALANJÄLKI

Matkailu on maailman eniten kasvava elinkeino, joka tuottaa yhä enemmän maailman kasvihuonekaasupäästöistä. Matkailun osuus ihmisen aiheuttamista kasvihuonekaasupäästöistä on yli viisi prosenttia (UNWTO 2008). Matkailun ennakoitaan yhä kasvavan tulevaisuudessa, ja mikäli mitään merkittäviä hallintatoimenpiteitä ei tehdä, matkailun aiheuttamat kasvihuonekaasujen päästöt kaksinkertaistuisivat seuraavien 25–45 vuoden aikana. (Gössling & Peeters 2015) Osalla matkailijoista ja matkapalvelujen tarjoajista on halu vähentää päästöjä, mutta ilman luotettavia tietoja muodostumisesta vähentäminen on vaikeaa.

Matkailun hiilijalanjälki muodostuu matkustuksesta matkakohteeseen, majoituksesta ja aktiviteeteista. Päästöt muodostuvat suurelta osin fossiilisten polttoaineiden käytöstä, joiden kulutus on suurta lentoliikenteessä ja henkilöautoilussa. Kuvassa 1 on esitetty matkailun päästöjen jakautuminen päästölähteittäin maailmanlaajuisesti. On arvioitu, että päästölähteiden osuuksissa ei tapahdu suuria muutoksia, vaikka tulevaisuudessa päästöjen kokonaismäärä kasvaakin. (UNWTO 2008)



**Kuva 1.** Matkailun päästöjen jakautuminen päästölähteittäin maailmanlaajuisesti (UNWTO 2008).

Yhä useammat matkailijat haluavat tietoa matkansa hiilijalanjäljestä. Myös matkailutoimijoilla, kuten matkanjärjestäjillä ja matkailuyrityksillä, on tarve laskea tuotteidensa ja palveluidensa hiilijalanjälkeä. Laskeminen on kuitenkin haastavaa, sillä hiilijalanjäljen laskeminen edellyttää tietojen keräämistä eri lähteistä. Vaikka valmiita laskureita on käytettävissä, tehdään niissä usein yksinkertaistuksia ja yleistyksiä, ja samalle matkalle voivat eri laskurit antaa erisuuruisen hiilijalanjäljen.

Päästöjen suuruutta voidaan arvioida ja laskea laskurien avulla. Matkustuksen päästöjen laskentaan soveltuvia laskureita ovat esimerkiksi ICAO, Atmosfair ja myclimate. Myös majoituksen hiilijalanjälkeä voidaan arvioida erilaisten laskureiden avulla. Majoitusyritysten hiilijalanjälkiarvioita esitetään myös esimerkiksi BookDifferent-sivustolla. Lisäksi yritykset ilmoittavat yhä enenevässä määrin oman laskentansa tuloksia.

Palvelualoilla, kuten matkailussa, majoitusosalalla, tapahtumissa ja elämysliiketoiminnassa, hiilijalanjälki on erinomainen työkalu ja mittari ympäristöjohtamisessa. Päästöjen muodostumisen tunnistamisen etuja ovat muun muassa kustannussäästöt, brändiarvon nousu sekä parantunut riskienhallinta. Yhä useampi matkailutoimijoista raportoi vastuullisuudesta sekä päästöjen muodostumisesta ja hallinnasta. Raportoinnin kehittyminen on ollut kuitenkin melko vähäistä verrattuna matkailualan kokoon ja kasvuvauhtiin. (Becken & Bobes 2016)

Ilman tietoa ja konkreettisia lukuja päätöksenteko, tavoitteiden asettaminen ja tulosten mittaaminen yrityksessä on mahdotonta. Laskennan avulla voidaan löytää merkittäviäkin päästölähteitä. (Becken & Bobes 2016)

## **MATKAILUN HIILIJALANJÄLJEN PIENENTÄMINEN**

Hiilijalanjälkilaskentaan löytyy työkaluja, mutta muutosta tarvitaan myös matkustajien käyttäytymisessä. Tiedot päästöjen muodostumisesta ja vaihtoehtoista niiden hallitsemiseksi vaikuttavat myös kuluttajakäyttäytymiseen.

Matkailussa syntyvien päästöjen vähentämisellä voidaan pienentää myös matkailun hiilijalanjälkeä. Kannustamalla matkailijoita vähähiilisiin matkustusmuotoihin ja loma-aktiiviteetteihin hiilijalanjälki pienenee. Matkailuyritys voi myös valita ekosähköön tai pyrkiä pienentämään energian- ja vedenkulutustaan.

Matkustus kohteeseen on usein eniten päästöjä aiheuttava osa matkaa varsinkin, jos kohde sijaitsee kaukana. Liikkumisen aiheuttamat päästöt lomakohteessa voivat myös olla merkittävät etenkin, jos kohteessa oleskellaan pitkään. Usein matkakohteessa liikkumisessa on kuitenkin valittavissa erilaisia vaihtoehtoja ja toimintatapoja, joilla päästöjä voidaan vähentää. (Carbontour 2012) Matkailija voi pienentää omalta osaltaan matkailun hiilijalanjälkeä valitsemalla matkustuskohteeseen lomakohteen läheltä. Kun kohde on lähellä, sinne ei ole tarvetta lentää (kuva 2).



**Kuva 2.** Rantalomakohteita löytyy myös kotimaasta, kuten Porin Yyteristä (kuva Riina Tuominen).

Majoituksen aikana syntyvät päästöt muodostuvat suurelta osin energiankulutuksesta. Kiinnittämällä huomiota energiansäästöön oleskelun aikana voidaan myös vähentää päästöjä. Majoitusyritysten energiantuotanto uusiutuvien energiamuotojen, kuten aurinkosähkön, avulla vähentää myös päästöjä. Matkailija voi valita ympäristövastuullisuuteen panostavan majoituspaikan, jolloin päästöjen hillitsemiseen kiinnitetään huomiota jo lähtökohtaisesti.

Veden puhdistus ja pumppaaminen kuluttavat energiaa samoin kuin jäteveden käsittely. Kiinnittämällä huomiota vedenkulutukseen voidaan vähentää myös päästöjä. Matkailuyritykset voivat pienentää vedenkulutustaan esimerkiksi asentamalla suihkuihin vettä säästävät suihkupäät ja lavuaareihin automaattihanat.

Jätehuolto aiheuttaa välillisesti päästöjä myös matkailussa. Elinkaarensa aikana ja erityisesti niiden käsittelyn ja hävittämisen aikana jättemateriaalit voivat päästää hiilidioksidia lukuun ottamatta merkittävän määrän kasvihuonekaasuja, kuten  $\text{CH}_4$  tai  $\text{N}_2\text{O}$ , joilla on useita kielteisiä vaikutuksia ilmaston lämpenemiseen.

Matkustuksessa syntyy aina päästöjä. Matkailija, joka haluaa pyrkiä hiilineutraaliuteen, voi täydentää vähentämispyrkimyksiään myös hiilipäästöjen kompensoinnilla. On olemassa erilaisia kompensointiohjelmiä, jotka tukevat ympäristönsuojelua, uusiutuvia energialähteitä ja energiansäästöihankkeita. Hiilipäästöjen kompensointi toisaalla ei kuitenkaan poista jo aiheutettuja kasvihuonekaasuja ja niiden vaikutuksia.

## LÄHTEET

Carbontour 2012. Carbon Neutral Tourist. A Guide to Reduce your Carbon Footprint! Strategic Planning Towards Carbon Neutrality in Tourism Accommodation Sector.

Becken, S. & Bobes, L. 2016. Proving the Case: Carbon Reporting in Travel and Tourism. <http://www.amadeus.com/documents/reports/carbon-reporting-taveland-tourism.pdf>

Gössling, S. & Peeters, P. 2015. Assessing tourism's global environmental impact 1900–2050. *Journal of Sustainable Tourism*. Volume 23, 2015, Issue 5.

Rantsi, J. 2011. Jos jonkinmoiset laskurit. Tutkija, SYKE. <http://ilmastotohtori.blogspot.fi/2011/10/jos-jonkinmoiset-laskurit.html>

Ryynänen, E., Oja, L., Vehviläinen, I., Kumpulainen, A. & Vanhanen, J. 2012. Selvitys hiilijalanjälki- ja päästölaskennan menetelmistä ja kehittämistarpeista. Helsinki: Ympäristöministeriö.

Serrano-Bernardo, F. A., Bruzzi, L., Toscano, E.H. & Rosúa-Campos, J.L. 2012. Pollutants and Greenhouse Gases Emissions Produced by Tourism Life Cycle: Possible Solutions to Reduce Emissions and to Introduce Adaptation Measures.

UNWTO 2008. Climate Change and Tourism – Responding to Global Challenges. World Tourism Organization and United Nations Environment Programme. <http://sdt.unwto.org/sites/all/files/docpdf/climate2008.pdf>

# KAATOPAIKKOJEN MALLINNUS PAIKKATIETOISESTI

Esa Hannus & Mira Markovaara-Koivisto & Heikki Särkkä

Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu (Xamk) on mukana kansainvälisessä, EU:n Horisontti 2020 -ohjelmasta rahoitetussa SMART GROUND -hankkeessa, jonka tavoitteena on lisätä tietoa kaatopaikoilla olevista sekundaarisista raaka-aineista ja edesauttaa niiden hyödyntämistä. Hankkeessa on mukana myös Geologian tutkimuskeskus (GTK), jonka osaamisalaa ovat muun muassa geofysikaaliset ja geokemialliset tutkimusmenetelmät sekä niihin perustuva mallintaminen. Tämän artikkelin taustana ovat pääasiassa hankkeessa saadut kokemukset. Seuraavissa kappaleissa kuvataan kaatopaikan mallintamisen erilaisia mallinnusvaiheita ja menetelmiä paikkatietonäkökulmasta.

## JOHDANTO

Kaatopaikkakaivostoiminta (*landfill mining*), jossa kaatopaikalle sijoitettua materiaalia kaivetaan, käsitellään ja uudelleen hyödynnetään, ei vielä ole yleistä. Kiinnostus voi kuitenkin kasvaa, kun pula raaka-aineista lisääntyy tulevaisuudessa. (Törn 2017, 26.) Kaivostoimintaan mahdollisesti soveltuvat kaatopaikat ovat joko teollisuuskaatopaikkoja (IW, *industrial waste*) tai yhdyskuntajätteelle tarkoitettuja kaatopaikkoja (MSW, *municipal solid waste*). Myös suljetuilla, entisillä kaivosalueilla voi olla huomattavia määriä hyödynnettäviä materiaaleja. Ensimmäiseksi ja viimeiseksi mainituilla kaivostoiminnoilla tavoitellaan tuotettavaksi lähinnä metalleja, mukaan lukien ns. harvinaiset maametallit (REE, *rare-earth element*). Yhdyskuntajätteen kaatopaikoilta voitaisiin tuottaa energiakäyttöön sopivaa materiaalia, mutta mahdollisesti myös metalleja sekä muuta kierrätettävää materiaalia. (Särkkä ym. 2017)

Kaatopaikkakaivostoiminnan kannattavuuden ja muun muassa ympäristövaikutusten arvioimiseksi kohteen ominaisuudet on syytä kartoittaa kattavasti. Tässä karakterisoinniksi kutsutussa toimenpiteessä kerätään eri menetelmillä tietoa niin kohteen topologisesta rakenteesta (kuten pinnanmuodot, kerrostumat ja rakennelmat) kuin kohteen sisältämistä materiaaleista ja aineista. Kohteisiin liittyvät aineistot ja kohteissa tehtävät tutkimukset sekä analyysien tulokset ovat sijaintiperusteisia. Aineistoja ovat esimerkiksi erilaisten materiaalien sijoitusalueet. Kohteissa tehtävät tutkimukset perustuvat esimerkiksi eri pisteissä tehtyihin kairauksiin sekä eri menetelmillä linjamaisesti tai alueellisesti tehtyihin sensorointeihin. Tällaisia tietoja on luontaista tarkastella viemällä ne sijaintikomponentin huomioiviin ohjelmistoihin, joiden avulla dataa voidaan visualisoida ja mallintaa, ja siten saada tietoa muun muassa kohteen hyödyntämispotentiaalista.

## TOPOGRAFIAN MALLINTAMINEN

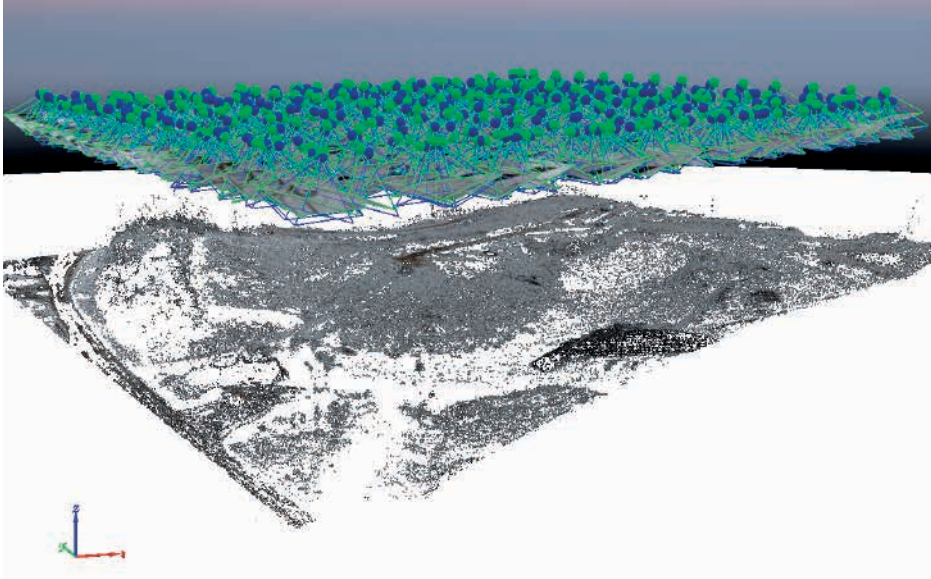
Osana kohteen alkutietojen monipuolista kartoittamista (karakterisointia) kohteen pinnanmuodot kuvataan yksityiskohtaisesti. Topografisessa karakterisoinnissa kartoitetaan korkeussuhteiden lisäksi erilaisia kohteen jatkokyöstämisessä hyödyllisiä asioita, kuten tiestö ja kulkuväylät, rakennukset ja rakennelmat sekä muut kohteen pintaa ja aluerajauksia kuvaavat tekijät. Tähän käytetään olemassa olevia aineistoja sekä tarpeen ja mahdollisuuksien mukaan uutta eri menetelmin tuotettavaa tietoa. Käytännössä tarvitaan teknisiä piirustuksia, karttoja, ilmakuvia ja korkeusaineistoja. Eli kyseessä ovat erilaiset maanmittaustekniikan ja kaukokartoituksen keinoin joko aiemmin tuotetut tai karakterisoinnin aikana tehtävät aineistot.

Topografisen karakterisoinnin yhteydessä tehdään myös mallinnusta. Eri menetelmin saaduista tiedoista tehdään kohteen maanpintaa kuvaava digitaalinen kolmiulotteinen pinta (DTM, *digital terrain model*). Käytännössä kyseessä olevien kohteiden pintatiedon keruun menetelminä ovat kaukokartoituksen alaan kuuluvat laserkeilaus (LiDAR, *yl. Light Detection And Ranging*) ja fotogrammetria eli kuvaperusteiset menetelmät. Myös perinteisiä maanmittausmenetelmiä kuten takymetri- ja satelliittimittausta käytetään, esimerkiksi avustavina ja täydentävinä keinoina edellä mainittujen menetelmien yhteydessä.

Laserkeilausta tehdään lähinnä helikopteriin tai lentokoneeseen sijoitetulla keilaimella ja sen oheislaitteistolla. Järjestely on kallis ja ”raskas” jo pelkästään tarvittavien mittalaitteiden osalta. Myös pienoislennokkeihin ja -koptereihin (UAV, *Unmanned Aerial Vehicle*; ”drooni”) sijoitettavia keilaimia on, mutta niiden käyttö on vielä vähäistä, ja nämäkin järjestelmäkokonaisuudet ovat kalliita. Pienille alueille sekä hyvin jyrkille kohteille keilaus tehdään maanpinnan päälle kolmijaloille seisomaan sijoitettavilla laitteilla (ns. maalaserkeilaus). Keilaukset on sidottava kohteessa käytettyyn koordinaatistoon riittävällä tarkkuudella. Joissakin maissa on myös kansallista laserkeilaus- ja korkeusmallituotantoa. Ne on kuitenkin kohdennettu laajoille alueille, eikä niiden keilaustuotannon data välttämättä sovellu tarkkuuden, resoluution tai ajantasaisuuden kannalta kohdetapauksien mallintamisen aineistoiksi.

Modernissa fotogrammetriassa mallintamista varten tehty tiedonkeruu perustuu suureen määrään kohteesta otettuja valokuvia (kuva 1). Kuvat otetaan siten, että vierekkäisillä kuvilla on aina tietty määrä päällekkäisyyttä. Mallintamisen kannalta kuvien absoluuttisen tarkkoja sijainteja tai kuvien asentotietoja ei tarvita, vaan kuvamallinnusohjelmisto yhdistää kuvat ja tuottaa halutut lopputuotteet laskenta-algoritmiensa avulla. Koko kuvaus kuitenkin sidotaan tarvittavalla tarkkuudella kohteessa käytettyyn koordinaatistoon. Kaatopaikka-kohteissa tämä menetelmä on erityisen kätevä, kun kuvaukseen käytetään pienoiskopteria tai -lennokkia. Alueiden ollessa pienehköjä, kopterina voidaan käyttää jopa edullisia kulluttajatasen laitteita, joilla matalalta (noin 50 m) kuvatessa saadaan hyvin käyttökelpoista dataa. Myös perinteistä, stereokuviin perustuvaa fotogrammetriaa voitaisiin käyttää, mutta se on kuvausjärjestelyiltään ja laitteistovaatimuksiltaan vaativampaa, eikä tarjoa merkittäviä

etuja kohdetapausten kartoittamisessa. Kuten keilausaineistoissakin, myös ilmakuvien suhteen voidaan soveltuvin osin hyödyntää mahdollista kansallista yleistä ilmakuvatuotantoa. Lisäksi on huomattava, että kohteesta kertynyt kuvamateriaali voi olla kohteen käsittelyssä hyödyllistä muutenkin kuin mallinnustarkoituksissa.



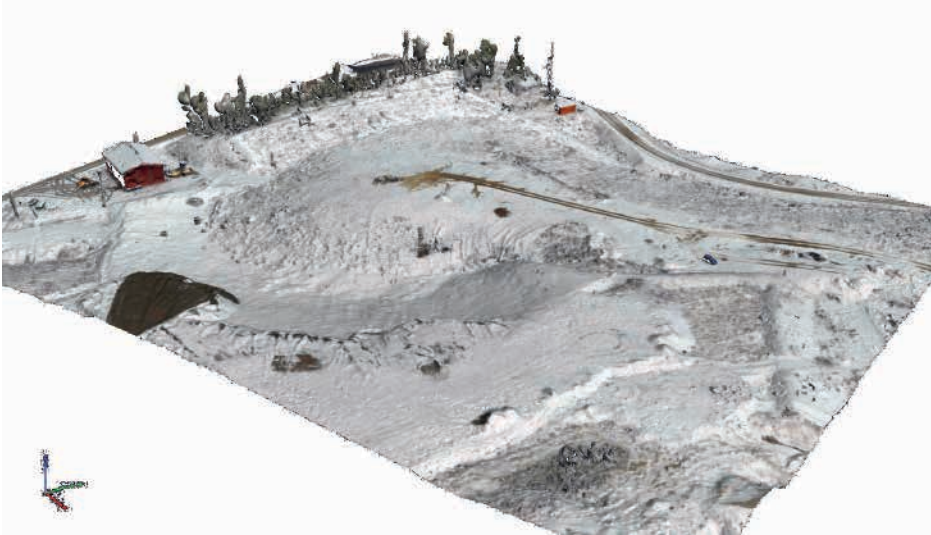
**Kuva 1.** Satoja kuvia käsittäneen pienoiskopterikuvauksen kuvien ottopaikat ja kuvamallinnusohjelmistossa syntyvä pistepilveä (kuva Esa Hannus).

Sekä laserkeilauksella että kuvaperusteisella menetelmällä syntyy kolmiulotteisten pisteiden pistepilvi (kuva 1), joka voidaan erikoisohjelmistolla mallintaa 3D-malliksi (kuva 2). Maanpintaa kuvaavan mallin tuottamiseksi pistemassasta täytyy erotella pisteet, jotka kuuluvat rakennuksiin, puustoon yms. Pistepilvi sisältää tyypillisesti jopa useita miljoonia pisteitä sekä mahdollisesti muuta pisteisiin liittyvää informaatiota. Esimerkiksi jokaiseen laserkeilauspisteeseen voi liittyä takaisin heijastumisen voimakkuutta kuvaava intensiteetti-arvo, jota voidaan hyödyntää pintamateriaalin tai muun vastaavan ominaisuuden määrittämiseen. Eri menetelmillä tuotettuja pistepilviä ja muita aineistoja voidaan myös tietyin rajauksin yhdistellä tarvittavan lopputuloksen aikaansaamiseksi. Mallista ja pistepilviaineistosta voidaan edelleen tuottaa esimerkiksi korkeuskäyriä ja muita kohteita kuvaavia karttatuoitteita.

Geometrinen 3D-pintamalli teksturoidaan tarpeen ja tilanteen mukaan ilmakuvilla tai erilaisilla kartta-aineistoilla (kuva 2). Toisin sanoen, kuva ”kääritään” 3D-mallin päälle. Myös satelliittikuvia käytetään, mikäli ne ovat muuan muassa erottelukyvyltään riittäviä. Edellä mainittu nykyaikainen fotogrammetrinen mallinnusmenetelmä tuottaa kohteesta myös ns. ortoilmakuvamosaiikin, jossa jopa useista sadoista erillisistä ilmakuvista on koostettu



kolmiulotteisen pinnan avulla mittatarkaksi oikaistu ilmakuva (ortokuva). Tällainen kuva soveltuu hyvin kaatopaikkakohteen pinnan teksturointiin, koska se on yleensä erottelukyvyltään varsin yksityiskohtainen suhteellisen matalan kuvauskorkeuden takia. Kuvamallinnusohjelmistolla mallintaessa tekstuuri myös asettuu tarkasti 3D-mallin päälle, koska koko tuotanto ja kaikki ohjelmiston suorittamat laskennat tapahtuvat koko ajan samassa koordinaatistossa. Ortokuvamosaiikki syntyy käytännössä automaattisesti osana kuvamallinnusprosessia. Pintamallin teksturoinnissa on tyypillistä hyödyntää myös kansallista yleistä ortokuvat tuotantoa, mikäli sellaista on saatavilla. Esimerkiksi kohteen keskeisin osa 3D-mallissa voi olla teksturoitu tarkalla pienoiskopterikuvauksen ortomosaiikilla ja ympäröivä laajempi alue yleispiirteisemmällä ortokuvalla. Lisäksi on vielä huomattava, että kuvausajankohdan olosuhteet vaikuttavat tekstuuriin (kuva 2).



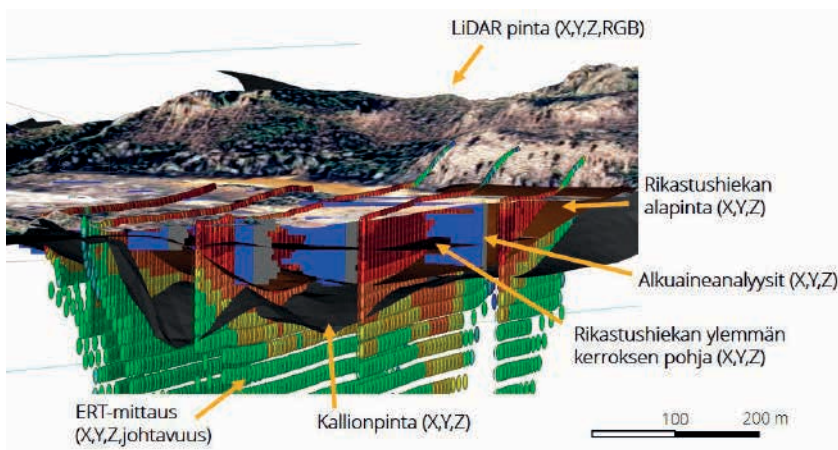
***Kuva 2.** Ohuen lumipeitteen aikaiseen pienoiskopterikuvaukseen perustuva 3D-malli ortokuvamosaiikilla teksturoituna. Kuvan malli sisältää maanpinnan lisäksi pinnan päälliset kohteet (kuva Esa Hannus).*

Maanpinnan mallin sekä pinnan peitteitä kuvaavien tekstuurien tulisi olla riittävän tarkkoja sekä erottelukyvyltään että taso- ja korkeussijainniltaan, mutta vaatimus määrittyy tapauskohtaisesti. Esimerkiksi useista SMART GROUND -hankkeen kohteista laadittiin korkeusmallit kymmenen senttimetrin resoluutiolla, ja ne teksturoitiin ortoilmakuvamosaiikilla, jonka resoluutio oli viisi senttimetriä. Tuotettu kolmiulotteinen maanpinta yhdistetään usein muissa mahdollisissa työvaiheissa pinnanalaisten tietoihin ja pinnanalaisten kerrosten mallintamiseen. Jatkomallintamisessa käytetään pinnanalaista tietoa, jota on saatu kairauksilla tai muilla tutkimuksilla. Esimerkiksi eri pintojen erotuksena saadaan tietoa eri rakennekerroksien sisältämisestä ainemääristä. Lisäksi kohdetta kuvaavan 3D-mallin päällä voidaan esittää muita kohteeseen liittyviä tietoja, kuten näytepisteiden sijainteja ja erilaisia tulostietoja. Tämä auttaa hahmottamaan kohdetta kaksiulotteisia kuvia paremmin.

## MALLINTAMISTA GEOFYSIIKAN ERI MENETELMILLÄ

Erilaisilla geofysiikan menetelmillä voidaan kerätä tietoa muun muassa maanpinnanalaisista kerrostumista ja ainekoostumuksista. Esimerkiksi Salossa sijaitsee 70-luvulla suljettu Aijalan kuparikaivos, jonka rikastushiekkakasassa jäljellä olevat mineraalit voisivat olla nykyaikana varteenotettava raaka-aineiden lähde rikastusmenetelmissä tapahtuneen kehityksen ja nykyteknologiassa käytettävien uusien metallien ansiosta. Rikastushiekkakasaa tutkittiin kairaamalla ja ottamalla näytteitä metrin välein aina rikastehiekkakasan pohjaan saakka. Näytteistä analysoitiin laboratorioissa niin hyödylliset kuin ympäristölle vaaralliset alkuaineet. Lisäksi rikastushiekkakasan rakennetta tutkittiin kasaa eri suuntiin leikkaavilla gravimetrisillä tutkimuslinjoilla sekä useilla rinnakkain sijaitsevilla ERT-linjoilla (Electrical Resistivity Tomography), joita pitkin saadaan luotua poikkileikkauksuvia sähköjohtavuudesta.

Edellä mainitut tutkimustulokset tuotiin yhteen kaivosteollisuudessa käytettävässä 3D-mallinnusohjelmassa nimeltä GEMS käyttäen niiden koordinaatteja ja niissä määritettyjä ominaisuuksia, kuten alkuainepitoisuus tai sähköjohtavuus. Mallinnuksen lähtödataan perustuen luotiin pintoja, jotka rajasivat rikastushiekkakasan ja sen kaksi eri kerrosta, joista toinen oli kupari- ja toinen lyijypitoisempi. Eri kerrosten sisältämät metallipitoisuudet laskettiin blokkimallissa, jonka solukoko oli yksi kuutiometri. Eri rikastushiekkakerrokseen kuuluvien blokkien pitoisuudet laskettiin Inverse Distance -menetelmällä, joka ottaa huomioon kairareikänäytteistä määritetyt metallipitoisuudet määritetyllä etäisyydellä ja suunnalla siitä blokista, jonka pitoisuutta kulloinkin lasketaan. Lopuksi kaikkien blokkien pitoisuuksista laskettiin koko rikastushiekkakasan sisältämien metallien massat kilogrammoina. Blokkimalli esittää myös rikastushiekkakasan pitoisuudet sekä niiden sijainnin. Tästä on hyötyä, jos halutaan esimerkiksi tietää, missä rikkaimmat kohdat sijaitsevat ja pitääkö päältä siirtää köyhää ainesta ensin syrjään. Tutkimustuloksia ja mallinnuksia voidaan tarkastella 2D- ja 3D-karttakuvien avulla (kuva 3).



**Kuva 3.** Kolmiulotteinen visualisointi kaivoskaatopaikkakohteen mallinnus- ja tutkimustuloksista (kuva Mira Markovaara-Koivisto).

## JOHTOPÄÄTÖKSET

Mallinnus ja kohteen karakterisointi liittyvät läheisesti toisiinsa. Mallinnuksessa ja karakterisointiin liittyvissä tutkimuksissa syntyy erilaisia paikkasidonnoisia tuloksia. Näitä eri vaiheissa saatuja tuloksia sekä muita kohteisiin liittyviä aineistoja voidaan visualisoida kaksi- ja kolmiulotteisilla karttakuvilla. Mallinnuksella saadaan selville, onko kohdealueella ylipäättään tarpeeksi potentiaalia jatkotoimenpiteille. Koska mallinnus on paikkatietoista, sen avulla pystytään kohdentamaan mahdollisia jatkotutkimuksia sekä muita toimenpiteitä sopiviin kohtiin kohdealuetta. Lisäksi saadaan selville toimenpiteiden toteuttamisissa tarvittavaa teknistä tietoa, kuten siirrettävien maamassojen määriä tai tarvittavia kairausyvyyskysymyksiä. Toisin sanoen tulosdataa sekä tuotettuja karttakuvia käytetään tukemaan toimintapäätösten tekemistä sekä tarvittaessa jatkoanalyysien ja laskentojen lähtöaineistoina.

Edellä kuvattu ei kuitenkaan ole mahdollista, mikäli käytettävissä ei ole soveltuvaa dataa tai sitä ei esimerkiksi kustannussyistä tuoteta. Mallinnus voikin tapauskohtaisesti olla syvällistä ja laajaa tai jäädä melko pintapuoliseksi. Edellä mainitun voi ottaa myös kirjaimellisesti, kun asiaa tarkastellaan maanpinnanalaisten tietojen saatavuuden sekä datan alueellisen kattavuuden kannalta. On myös huomattava, että kattavaan mallintamiseen tarvitaan erityisosaamista sekä erityisiä mittalaitteita ja ohjelmistoja geofysiikan ja geokemian aloilta. Luonnollisesti yksi edellytys datan käytölle paikkatietoisessa mallinnuksessa on, että tiedot voidaan sitoa toisiinsa riittävällä tarkkuudella jossakin tunnetussa koordinaatistossa. Oheishavaintona voi lisäksi tuoda esiin, että kokoamalla kaatopaikan kaikki tiedot – topografia, aluerajaukset, kulkuverkko, laitteistot ja rakennelmat sekä mittaus- ja mallinnusdata – paikkatietojärjestelmään, voitaisiin kohdetta hallinnoida kokonaisvaltaisesti ja tuottaa helpommin uusia laskelmia, karttakuvia ja malleja.

## LÄHTEET

Särkkä, H., Kaartinen, T., Hannus, E., Hirvonen, S., Valjus, T., Lerssi, J., Dino, G.A., Rossetti, P., Griffiths, Z., Wagland, S.T., & Coulon, F. 2017. Assessing the opportunities of landfill mining as a source of critical raw materials in Europe. Sixteenth International Waste Management and Landfill Symposium. Conference in Sardinia 2-6.10.2017. Proceedings.

Törn, M. 2017. Mitä tapahtui kaatopaikoille? Maankäyttö 1/2017, 24-26.

# RADIOTAAJUUSTUNNISTUS JA MUUT SOVELTUVAT TEKNIIKAT JÄTTEENKERÄYKSEN APUVÄLINEINÄ

Petri Janhunen & Heikki Särkkä

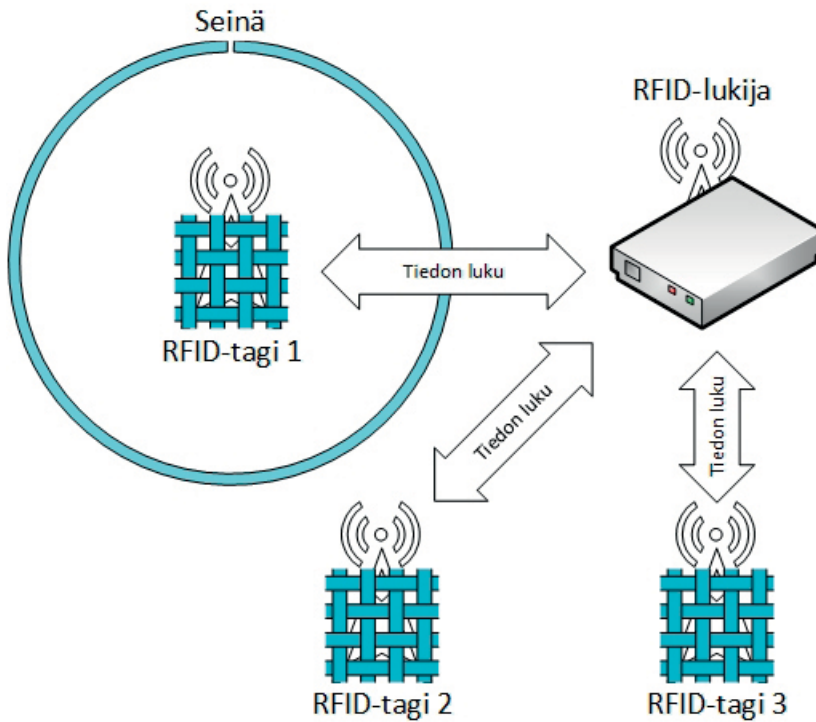
Smart Ground on Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulun osatoteuttama hanke, jonka tavoitteena on lisätä tietoa kaatopaikoilla olevista sekundaarisista raaka-aineista (esimerkiksi romurauta ja jalometallit) ja edesauttaa niiden hyödyntämistä luomalla kansainvälinen tietopankki. Hanke on saanut rahoitusta Horisontti 2020 –ohjelmasta, ja sen kokonaisbudjetti on lähes 2,5 miljoonaa euroa (100-prosenttinen EU-rahoitus). Hankkeen konsortioon kuuluu monia suomalaisia ja ulkomaalaisia kumppaneita. Mukana on useita eri alojen konsulttiyrityksiä, kuten italialainen ENCO ja unkarilainen MKM, Pecsín yliopisto Unkarista, Torinon yliopisto Italiasta, Cranfieldin yliopisto Iso-Britanniasta sekä suomalaiset tutkimuslaitokset VTT ja GTK (Geologian tutkimuskeskus) ja Mikkelin kaupungin jätehuolto-yhtiö Metsäsairila Oy.

Smart Ground -hankkeessa on myös tarkoitus etsiä keinoja sen selvittämiseksi, mihin jäte joutuu kaatopaikan penkalla eli sen loppusijoituspaikalla. Jätteen jäljitettävyyden mahdollistaisi tulevaisuudessa sellaisten arvokkaiden jätteiden tehokkaan löytämisen, joita ei vielä nykyisellään tunneta tai osata hyödyntää. Tähän ongelmaan lähdettiin kehittämään parempaa jäljitettävyyttä mm. käyttämällä radiotaajuustunnistusta, eli RFID (Radio-frequency identification) -teknologiaa.

## RFID-JÄLJITETTÄVYYS

Ennen tunnistusteknologiat perustuivat esimerkiksi viivakoodeihin tai muihin yksilöiviin tunnistuksiin. RFID tuo merkittävää lisäarvoa edellä mainittuihin teknologioihin, sillä RFID ei tarvitse suoraa näkyvyyttä, eli RFID-tagit voidaan lukea myös esteiden takaa. RFID-tagin mahtuu myös paljon enemmän tietoa kuin esimerkiksi viivakoodiin. RFID-tagin muita hyötyjä ovat sen erinomainen säänkesto ja huomattavan edullinen hinta. (Glover & Bhatt 2006)

RFID käyttää elektromagneettisia kenttiä tunnistamaan RFID-tageja automaattisesti (Wikipedia 2017). Tämä tarkoittaa sitä, että käytännössä kun RFID-tagit ohittaa RFID-lukijan, se rekisteröityy lukijaan eli kyseinen RFID-tagit on käynyt lukijan lähellä. Kuvassa 1 esitetään, miten lukija lukee tiedon lähellä olevista tageista sekä epäsuorasti että suorasti.



*Kuva 1. RFID-lukija, -tagit ja tiedonsiirto.*

Tällä teknologialla on mahdollista toteuttaa jätteen jäljitettävyyssmalli ilman riippuvuutta Internetistä tai satelliittipaikannuksesta. Kehitysmaissa sekä muilla kehittyvillä kaatopaikoilla voi olla vielä tilanteita, joissa kierrätystä ei ole huomioitu lainkaan. Tämän tyyppisessä toiminnassa RFID-teknologia voi tuoda lisäarvoa ja ratkaisumallin, miten jäte voidaan jäljittää sen loppusijoituspaikalle. Seuraavat käyttötapaukset kuvaavat, miten RFID-teknologiaa voidaan hyödyntää jätteen jäljitettävyyden teknologiana.

## JÄTTEEN KERÄYS

Eri jätetyypeillä tulisi olla oma yksilöivä tunnisteensa, ja tähän tarkoitukseen voidaan käyttää mm. Euroopassa käytössä olevaa EWC-koodistoa (Environmental Pro... 2002). Jätetyyppilaji tunnistetaan määrittämällä sille koodi, jolloin eri jätetyypeille voidaan määrittää eri RFID-tagit, jotka voidaan aktivoida jäterekan jätteen sisällön perusteella.

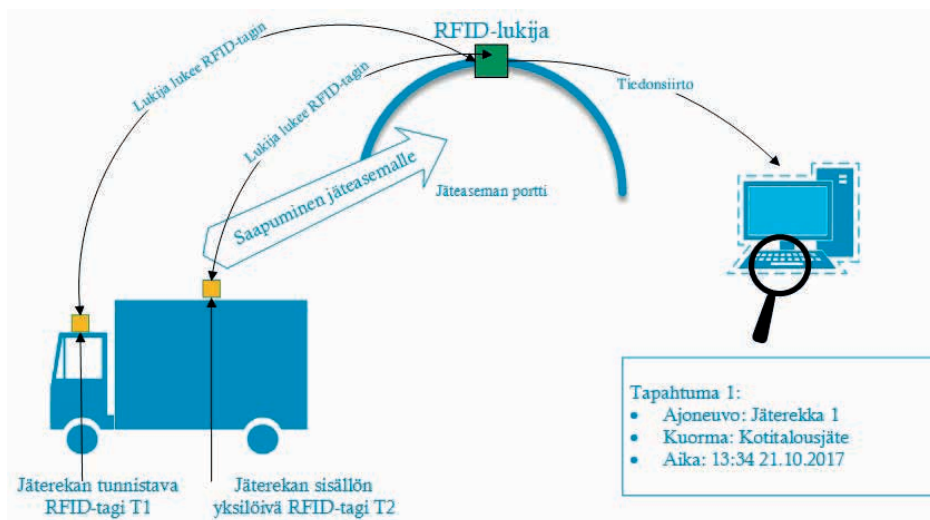
Jäterekan tuulilasiin voidaan kiinnittää kyseisen jäterekan yksilöivä RFID tagi, jonka tulee olla UHF-tyyppinen (Ultra-High Frequency). UHF-tageilla saavutetaan jopa 12 metrin lukuetäisyys. Vaihtoehtoisesti jäterekan yksilöivä RFID-taggi voidaan sijoittaa jäterekan katolle. Sekä sisällön että jäterekan yksilöivät RFID-tagit luetaan, kun jäte saapuu jäteasemalle. (Rossi 2016)

## JÄTTEEN SAAPUMINEN JÄTEASEMALLE

Jäteaseman portilla tulisi olla säänkestävä RFID-lukija, joka lukee portin ohittavat RFID-tagit. RFID-lukijassa voi olla Ethernet-portti tietokoneyhteydelle. Jäterekan sekä jäterekan sisällön RFID-tagien tulisi olla kahdeksan metrin säteellä RFID-lukijasta, jotta rekisteröinti varmasti onnistuu. (Rossi 2016)

RFID-lukijan lukemat tiedot välitetään tietokoneelle, joka sijaitsee jäteaseman portin läheisyydessä ja on yhteydessä RFID-lukijaan. Tällä tavoin tietokoneen ei tarvitse olla riippuvainen Internet-yhteydestä, vaan tietokoneen ohjelmisto voi säilöä tiedon siitä, mitä jätettä mihinkin kellonaikaan jäteasemalle on saapunut. (Rossi 2016)

RFID-lukija tunnistaa tässä tapauksessa jäterekan, joka saapuu jäteasemalle, sekä tiedon siitä, mitä jätettä rekka sisältää (Kuva 2). Kuten Rossi (2016) toteaa, Jäterekan RFID-tagi linkitetään jäterekan sisällön yksilöivään RFID-tagiin, jossa on tieto jätetyyppikoodista. Tällöin tiedetään, mitä kyseinen jäterekka sisältää, kun rekka ohittaa jäteaseman portin. Aika, päivämäärä ja muut automaattiset tiedot luetaan aina automaattisesti, kun tapahtumia rekisteröidään (Rossi 2016).



*Kuva 2. RFID-luku jäteaseman portilla.*

## JÄTEALUEIDEN SEKTOREIDEN MERKITSEMINEN RFID:LLÄ

Jätealueiden sektorien merkitseminen fyysisesti voi olla parempi kuin pelkkä alkuperäisen kippauspaikan koordinaattien talletus, kun materiaalia siirretään kauhakuormaajilla myöhemmin jätapaikan eliniän aikana. Alun perin jätealue olisi jaettu sektoreihin, joiden

koko valitaan kaatopaikan käyttö- ja elinikäsuunnitelman mukaisesti. Jokainen sektori merkitään mekaanisesti kestäväällä pylväällä, jonka yläpäässä on sektorin identifioiva passiivinen RFID-taggi. Pylväs voi olla esimerkiksi hiilikuituputki, jonka yläpäähän RFID-taggi kiinnitetään. Pylväiden on tarkoitus osoittaa materiaali alueita silloinkin, kun materiaaleja siirrellään maansiirtokoneilla, ja pylvään on tarkoitus siirtyä materiaalin mukana, jos materiaalia siirretään. (Rossi 2016)

RFID-taggi voi mahdollisesti olla styrox-kohon sisällä pylvään yläpäässä. Koho on kiinni pylvässä nailonköydellä tai vastaavalla. Jos pylväs siis kaatuu historian myllerryksessä, koho saattaa kevyenä säilyä niin lähellä maan pintaa, että se voidaan tulevaisuudessa edelleen lukea. Pylväiden yläpäät tulisi merkitä heijastimilla ja huomiovärisellä maalilla. Pylvään alapäässä voi olla suomumainen rakenne, joka hillitsee pylvään myöhempää itsenäistä liikkumista ylöspäin maassa. (Rossi 2016)

Pylväitä voi lukea kestäväen RFID-lukijan ja vesitiiviin Android-tabletin yhdistelmällä. Kun älykkäälle kaatopaikalle tuodaan jätekuorma, jätereassa on myös RFID-lukija. Se lukee pylvää, kun niiden ohi ajetaan. Sen pylvään tunniste, jonka ohi ajetaan viimeiseksi, tulee lastin jättöpaikan sektorin tunnisteeksi. (Rossi 2016)

Tämä mahdollistaa sen, että pitkänkin ajan päästä löydetään pylvää, vaikka sektoria olisi siirretty. Teoriassa on mahdollista, että pystytään lukemaan ainakin styrox-pallossa oleva pylvästä osoittava RFID-taggi maan pinnalta käsin. (Rossi 2016)

## **RFID-TEKNOLOGIA METSÄSAIRILASSA**

Metsäsairila Oy kierrätti jo vuonna 2014 yli 75 % kaikesta sekajätteestä, jonka se käsitteli (Metsäsairila Oy 2014). Nykypäivänä luku on kasvanut, ja penkkaan menevä jäte pystytään identifioimaan jo nyt hyvin. Samoin jäte on valmiiksi samanlaista riippumatta siitä, mihin kohtaan penkkaa se menee. Työn alkaessa (2017) realisoitui tilanne, jossa RFID:llä teknologiana ei saavuteta merkittävää lisähyötyä penkkaan menevän jätteen jäljitettävyyden parantamiseksi. Nykyiset järjestelmät ovat jo paljon edistyneempiä kuin mitä RFID-teknologialla voitaisiin tuottaa jäljitettävyyden parantamiseksi. Nykyiset järjestelmät pohjautuvat pääasiassa satelliittipaikannukseen sekä Internet-yhteyteen. Lisäksi tehokkaan kierrätyksen vuoksi myös kaikki arvokas jättemateriaali on jo seulottu pois ennen penkalle viemistä.

## **JOHTOPÄÄTÖKSET**

Jäljitettävyyden parantamiseksi RFID-teknologialla voidaan saavuttaa hyötyjä kaatopaikoilla, joissa raaka-aineiden kierrätys ei vielä ole nykyaikaisella tasolla. RFID-jäljitettävyyden toteuttaminen kaatopaikalle on hyvinkin edullista, ja siksi se onkin soveltuva esimerkiksi kehitysmaihin ja muille kehittyville kaatopaikoille. RFID-teknologialla pystytään saavut-

tamaan jätteen jäljitettävyyden mahdollistama malli, joka ei pohjautu Internet-yhteyteen tai satelliittipaikannukseen, mikä tekee mallista erottuvan ja yksilöllisen nykypäivän markkinoilla. Mikäli hyvä tietoverkkoyhteys ja satelliittipaikannus kuitenkin ovat saatavilla, suositeltavaa olisi keskittyä järjestelmiin, jotka pohjautuvat satelliittipaikannukseen

## LÄHTEET

Environmental Protection Agency An Gníomhaireacht um Chaomhnú Comhshaoil, 2002, European Waste Catalogue And Hazardous Waste List, [http://www.nwcpo.ie/forms/EWC\\_code\\_book.pdf](http://www.nwcpo.ie/forms/EWC_code_book.pdf)

Glover B. & Bhatt H., 2006, RFID Essentials, O'Reilly Media, Inc.

Metsäsairila Oy vuosikertomus, 2014, Metsäsairila Oy, Saatavissa: [https://www.metsasairila.fi/media/liitetiedostot/metsasairila/vuosikertomukset/vuosikertomus2014\\_nettiin.pdf](https://www.metsasairila.fi/media/liitetiedostot/metsasairila/vuosikertomukset/vuosikertomus2014_nettiin.pdf)

Radio-Frequency identification, 2017, Päivitetty 31.10.2017. Saatavissa: [https://en.wikipedia.org/wiki/Radio-frequency\\_identification](https://en.wikipedia.org/wiki/Radio-frequency_identification) [viitattu 31.10.2017]

S-E Finland UAS Ltd, Rossi, M. J., (sisäinen, ei julkaistu dokumentti), 2016, Suunnittelun suuntaviivoja SmartGroundin RFID-osaan.



# MBR-LIETTEEN JA MAATALOUDEN SIVUAINEVIRTOJEN BIOKAASUN- JA METAANINTUOTTO- POTENTIAALIT JATKUVA- TOIMISISSA REAKTOREISSA

Heikki Särkkä & Vuokko Malk & Tiina Saario & Aki Mykkänen  
& Hanne Soininen

Jätteiden hyödyntäminen bioenergiana nähdään yhä useammin kiertotalouden mahdollisuutena ja myös keinona minimoida energiankulutusta taloudellisista syistä (Latvala 2009). Esimerkiksi jätevesilietettä sekä maatalouden ja yhdyskuntien jätevirtoja pyritään entistä tehokkaammin hyödyntämään biokaasun tuotannossa (Luostarinen et al. 2011). Biokaasuyksiköiden määrä suomalaisissa jätevedenpuhdistamoissa on lisääntynyt 2000-luvulla, kun energiantarvetta on pyritty kattamaan omalla tuotannolla. Samalla liete jalostuu paremmin jatkohyödynnettävään muotoon esimerkiksi lannoitteena. Myös biokaasua tuottavia yhteiskäsittelylaitoksia on rakennettu ja on rakenteilla ympäri Suomea.

Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulussa (Xamk) biokaasuprosesseja ja niiden optimointia on tutkittu jo useiden vuosien ajan. Parhaillaan käynnissä olevassa Tekesin rahoittamassa Smart Effluents -hankkeessa pyritään optimoimaan koko jätevedenkäsittelyprosessi hyödyntämällä myös puhdistuksen aikana syntyvät lietteet energiantuotannossa. Erityisesti hankkeessa tutkitaan kalvobioreaktorissa (Membrane bioreactor) syntyvän lietteen metaanintuottopotentiaalia muun muassa eri panoskoesarjoissa sekä pilot-mittakaavan reaktoreissa. MBR-lietettä myös sekoitetaan maatalouden ja yhdyskuntien jätevirtoihin ja tutkitaan metaanintuottopotentiaalia eri seossuhteissa.

Smart Effluents -hankekokonaisuuden yritysryhmän muodostavat BioGTS Oy, Metsäairila Oy, Mikkelin vesilaitos, Mipro Oy ja Aquazone Oy. Julkisen tutkimushankkeen osiota toteuttavat Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu Oy ja Lappeenrannan teknillisen yliopiston Vihreän kemian laboratorio. Hanke saa rahoitusta Tekesin ohjelmasta Green Growth – Tie kestävään talouteen 2011–2015.

## JATKUVATOIMISTEN BIOKAASUKOKEIDEN TOTEUTUS

Pilot-mittakaavan kokeet toteutettiin pienoisreaktoreissa (BTP-2-basic, Umwelt- und Ingenieurtechnik GmbH Dresden, Saksa) (kuva 1). Kokeissa käytettiin mädätyslämpötilana 42 °C:tta. Reaktori 1 käynnistettiin tammikuussa 2017 (kokeen kesto 164 päivää) ja reaktori 2 helmikuussa 2017 (kokeen kesto 135 päivää). Reaktorissa 1 biokaasun raaka-aineena oli MBR-lietteen ja nurmirehun seos (MBR-liete 80 %, nurmirehu 20 %). Reaktorissa 2 raaka-aineena puolestaan oli naudan lietalannan ja nurmirehun seos (lietalanta 70 %, nurmirehu 30 %). Jatkuvatoimisissa reaktoreissa ei ollut erikseen pH:n säätöä ja puskurointia, mutta niissä oli kuitenkin automaattinen sekoitus. Kokeissa käytettiin raaka-aineina Lappeenrannan teknillisen yliopiston Mikkelin pilottilaitteistolla tuotettua MBR-lietettä ja juvalaiselta maatilalta saatua naudan lietalantaa ja nurmirehua. Reaktoreissa käytetty bakteerisiirre eli ympyi saatiin Juvan Bioson Oy:n biokaasulaitokselta.



*Kuva 1. Pilot-mittakaavan biokaasureaktorit (kuva Heikki Särkkä).*

Syötteistä ja mädätteistä analysoitiin niiden kuiva-aine- (TS) ja orgaanisen aineen (VS) osuudet. Biokaasun tuoton seuranta tapahtui automaattisesti kaasukellon avulla, mutta metaanipitoisuus määritettiin kaasukromatografisesti keräämällä biokaasua kaasunkeräyspusiin muutaman tunnin ajan ja injektioimalla näyte pussista. Metaanimittaukset suoritettiin pääosin vain kerran viikossa, useimmiten maanantaisin. Reaktoreiden toimintaan liittyviä lähtöarvoja ja ajon aikana saavutettuja tuloksia on esitetty taulukoissa 1 ja 2.

**Taulukko 1.** Reaktori 1:n (MBR-liete 80 % + nurmirehu 20 %) toimintaan liittyviä lähtöarvoja ja tuloksia.

	Vaihe 1 24.1.-31.1.2017 (0-7 d)	Vaihe 2 1.2.-2.4.2017 (8-68 d)	Vaihe 3 3.4.-28.5.2017 (69-124 d)	Vaihe 4 29.5.-7.7.2017 (125-164 d)
Syöteseoksen TS %	4,9	10,3	8,1	8,1
Syöteseoksen VS %	3,7	9,4	7,4	7,4
Syöttö (g/d, 5 d/vko)	Alkupanos ymppe 4 l +seos 800g	100	100	300
Syöttö (gVS/d, 5d/vko)	-	9,4	7,4	22,1
Poisto (g/d, 5 d/vko)	-	0	100	300
Kokonaistilavuus (ml)	4800	4 800-9 600	-	-
Viipymä HRT (d)	-	-	96	32
Kuormitus OLR (gVS/d/l)	-	-	0,8	2,3
Biokaasun tuotto (ml/d, keskiarvo)	6 433	4 964	4 727	13 638
Biokaasun tuotto (ml/gVS/d, keskiarvo)	-	680	870	617
Metaanin osuus (%, keskiarvo)	-	47	54	53
Mädätteen pH	-	-	7,8	7,7
Mädätteen alkaliteetti IA/PA	-	-	0,28 (0,25-0,31)	0,38 (0,29-0,48)

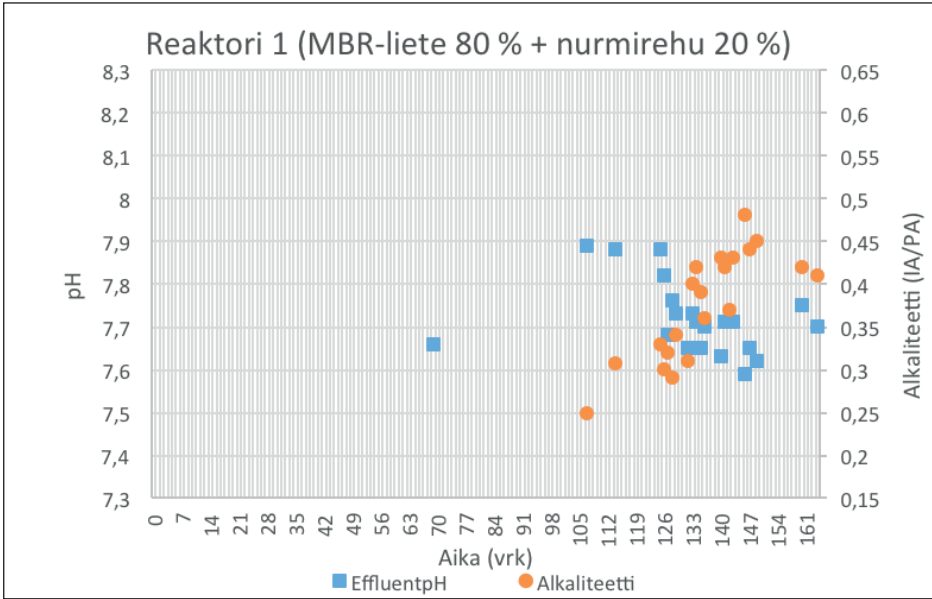
**Taulukko 2.** Reaktori 2:n (naudan lietelanta 70 % + nurmirehu 30 %) toimintaan liittyviä lähtöarvoja ja tuloksia.

	Vaihe 1 22.2.- 28.2.2017 (0-6 d)	Vaihe 2 1.3.-2.4.2017 (7-39 d)	Vaihe 3 3.4.-28.5.2017 (40-95 d)	Vaihe 4 29.5.-7.7.2017 (96-135 d)
Syöteseoksen TS %	18,9	18,9	17,2	18,9
Syöteseoksen VS %	17,2	17,2	15,6-17,2	15,6
Syöttö (g/d, 5 d/vko)	Alkupanos ympäri 8 l +seos 800g	100	100	300
Syöttö (gVS/d, 5d/vko)	-	17,2	17,2	51,5
Poisto (g/d, 5 d/vko)	-	-	100	300
Kokonaistilavuus (ml)	8 300	8 300-10 600	-	-
Viiipymä HRT (d)	-	-	106	35
Kuormitus OLR (gVS/d/l)	-	-	1,62	4,9
Biokaasun tuotto (ml/d, keskiarvo)	16 520	9 213	7 923	19 916
Biokaasun tuotto (ml/gVS/d, keskiarvo)	-	769	692	629
Metaanin osuus (%, keskiarvo)	-	59	57	52
Mädätteen pH	-	-	8,1	8,1
Mädätteen alkaliteetti IA/PA	-	-	0,31 (0,30-0,31)	0,48 (0,32-0,59)

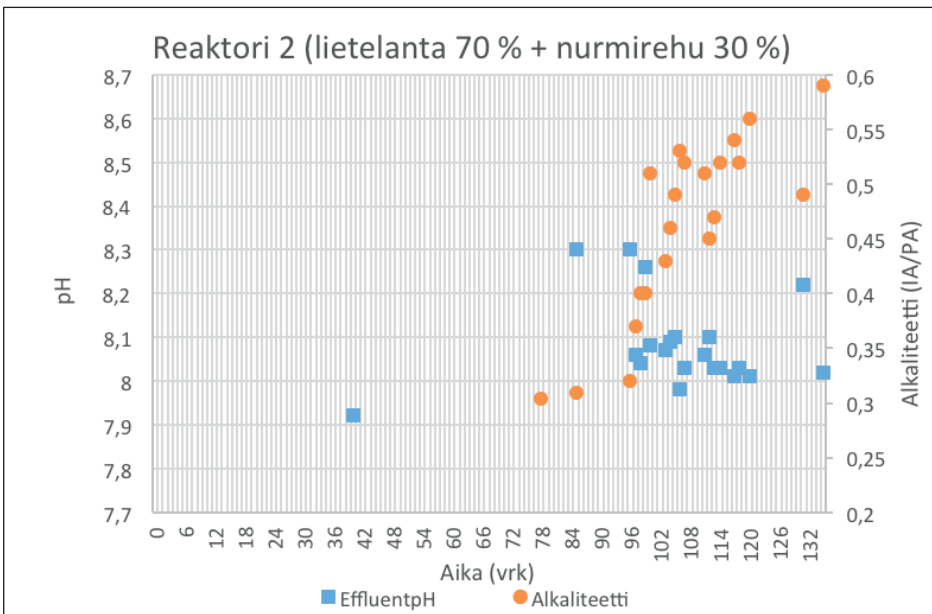
## JATKUVATOIMISTEN BIOKAASUKOKEIDEN TULOKSIA

Reaktoreita ajettiin kokeen aikana nelivaiheisesti eri kuormitusarvoilla. Vaiheiden 2–4 aikana biokaasun tuotto oli reaktorissa 1 (MBR+nurmirehu) 617–870 ml/gVS/d ja reaktorissa 2 (naudan lietelanta + nurmirehu) 629–769 ml/gVS/d. Reaktoreiden välillä ei siis ollut suurta eroa biokaasun tuotossa orgaanisen aineen määrään suhteutettuna. Metaanin osuus biokaasusta on ollut molemmissa reaktoreissa yli 50 prosenttia. Biokaasuntuotto kasvoi lähes samassa suhteessa kuin syötemäärä siirryttäessä kolminkertaiseen syötemäärään (vaiheesta 3 vaiheeseen 4, ks. taulukot 1 ja 2). Orgaanisen aineen määrään (VS) suhteutettuna biokaasuntuotto kuitenkin laski syötemäärän kasvaessa, reaktorissa 1 voimakkaammin kuin reaktorissa 2 (ks.

taulukot 1 ja 2). Tämä johtui todennäköisesti siitä, että mikrobisto ei ollut vielä tottunut suurempaan syötemäärään. Määdätteiden alkaliteetit nousivat molemmissa reaktoreissa syötemääriä nostettaessa johtuen mahdollisesti liian nopeasta kuormituksen kasvusta (kuvat 2 ja 3). pH:n ja alkaliteetin arvot olivat kuitenkin koko kokeen ajan hyvällä tasolla.



*Kuva 2. pH:n ja alkaliteetin muutokset reaktorissa 1.*



*Kuva 3. pH:n ja alkaliteetin muutokset reaktorissa 2.*

## JOHTOPÄÄTÖKSET

Pilot-mittakaavan kokeet osoittivat, että MBR-liete soveltuu hyvin biokaasuntuotantoon sekoitettuna muihin jätevirtoihin. MBR-lietteen biokaasun- ja metaanintuottopotentiaali itsessään on alhainen. MBR-lietteen hyödyntämistä biokaasuntuotannossa heikentää myös sen alhainen kuiva-ainepitoisuus. Optimaalisen metaanintuotannon takaamiseksi äkillisiä vaihteluita sekä raaka-aineiden syötemäärissä että prosessin olosuhteissa tulisi välttää.

## LÄHTEET

Latvala, M. (2009) Paras käytettävissä oleva tekniikka (BAT): Biokaasun tuotanto suomalaisessa toimintaympäristössä, Suomen ympäristökeskuksen raportteja 24/2009.

Luostarinen, S., Paavola, T., Ervasti, S., Sipilä, I., Rintala, J. (2011) Lannan ja muun eloperäisen materiaalin käsittelyteknologiat, MTT Raportti 27.

# HAITTA-AINEIDEN VAIKUTUS BIOKAASUN TUOTANTOON

Marjatta Lehesvaara & Tommi Karhinen

Biokaasuprosessissa tuotetaan hapettomissa eli anaerobisissa olosuhteissa orgaanisesta aineksesta kaasuseosta, joka sisältää pääasiassa metaania ja hiilidioksidia. Biokaasun tuotanto perustuu orgaanisen aineksen vaiheittaiseen biologiseen hajoamiseen eri mikro-organismien toimesta. Smart Effluents -hankkeeseen liittyen testattiin, miten erityyppiset yksittäiset haitta-aineet (mm. antimikrobiset aineet ja tulehduskipulääkkeet) vaikuttavat MBR-lietteen metaanintuottoon. Vaikutukset ovat aineesta riippuen metaanintuottoa edistäviä tai estäviä.

Smart Effluents -hankekokonaisuuden yritysryhmän muodostavat BioGTS Oy, Metsä-airila Oy, Mikkelin vesilaitos, Mipro Oy ja Aquazone Oy. Julkisen tutkimushankkeen osiota toteuttavat Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu Oy ja Lappeenrannan teknillisen yliopiston Vihreän kemian laboratorio. Hanke saa rahoitusta Tekesin ohjelmasta Green Growth – Tie kestävään talouteen 2011–2015.

## BIOKAASUPROSESSI

Biokaasuprosessissa tuotetaan hapettomissa olosuhteissa orgaanisesta aineksesta kaasuseosta, joka sisältää pääasiassa metaania ja hiilidioksidia. Orgaaninen aines hajoaa prosessissa mikrobien tuottamien entsyymien avulla useassa eri vaiheessa. Jokaisessa vaiheessa toimii eri bakteerikanta. Ensimmäinen vaihe on hydrolyysi, jossa hiilihydraatit, valkuaisaineet ja rasvat pilkkoutuvat pienemmiksi molekyyleiksi ja muuttuvat helpommin liukeneviksi. Hajoamisen toisessa vaiheessa eli asidogeneesissä syntyy erilaisia lyhytketjuisia happoja (esim. etikka-, propioni-, voi- ja maitohappo), joita sanotaan myös haihtuviksi rasvahapoiksi (VFA= volatile fatty acids). Samalla muodostuu myös alkoholeja, ammoniakkaa, hiilidioksidia ja vetyä. Asetogeneesivaiheessa haihtuvat rasvahapot muuttuvat asetaatiksi, vedyksi ja hiilidioksidiksi. Tähän vaiheeseen osallistuvat nitraatti-, karbonaatti- ja sulfaatti-ionit. Prosessin viimeisessä vaiheessa, metanogeneesissä, asetaatista, vedystä ja hiilidioksidista syntyy metaania. (Kymäläinen 2015a, 60)

## BIOKAASUPROSESSIIN VAIKUTTAVAT TEKIJÄT

Biokaasutuotannossa raaka-aineena tulisi käyttää materiaalia, joka sisältää paljon helposti biohajoavaa ainesta, esimerkiksi jätteitä. Tyypillisesti raaka-aine sisältää paljon hiilihydraatteja, rasvoja ja proteiineja. Tuotetun biokaasun määrä ja metaanipitoisuus riippuvat käytetystä raaka-aineesta, ja usein käytetäänkin erityyppisten raaka-aineiden seoksia.

Biokaasuprosessiin vaikuttavat raaka-aineen lisäksi monet eri tekijät. Raaka-aineessa on sekä orgaanista että epäorgaanista ainesta ja vettä. Raaka-aineen kuiva-aineesta käytetään lyhennettä TS (= total solids) ja orgaanisen aineksen osuudesta lyhennettä VS (= volatile solids). Mitä korkeampi on raaka-aineen VS/TS- suhde ja mitä helpommin hajoavaa orgaaninen aine on, sitä paremmin se sopii biokaasun tuotantoon. Vaikka biokaasu syntyy raaka-aineen orgaanisesta aineksesta, mikrobitoiminnan varmistamiseksi tarvitaan myös vettä. Epäorgaaninen aines ei hajoa prosessissa. Biokaasuprosessin mikrobitoiminta tarvitsee pääravinteiden hiilen (C), typen (N), fosforin (P) ja rikin (S) lisäksi hivenaineita ja vitamiineja. Optimaalisena C/N-suhteena pidetään arvoa 15–25. Korkea typpipitoisuus voi johtaa prosessissa korkeaan ammoniakkipitoisuuteen, ja korkea hiilipitoisuus suhteessa typpipitoisuuteen voi taas aiheuttaa typen puutetta. (Kymäläinen 2015b, 21)

Kemiallisten tekijöiden lisäksi biokaasuprosessin kulkuun vaikuttavat lämpötila ja pH. Optimaalinen lämpötilaväli on melko laaja, n. 35°C–55°C. Lämpötila vaikuttaa erityyppisten metanogeenibakteerien kasvunopeuteen, ja prosessin kannalta on tärkeää pitää lämpötila mahdollisimman tasaisena. Mikrobien toimintaan vaikuttaa myös pH. Hydrolyysivaiheen mikrobit työskentelevät parhaiten hieman happamissa olosuhteissa (pH 4,5–6,5) ja metanogeenit taas pH-alueella 6,7–8,5. Tyypillisesti biokaasuprosessin pH on lähellä neutraalia. Hiilihydraattipitoisesta raaka-aineesta syntyy happoja, jotka alentavat pH:ta. Proteiinipitoisesta raaka-aineesta syntyy puolestaan ammoniakkaa, mikä vaikuttaa pH:ta nostavasti. (Kymäläinen 2015c, 59)

## **BIOKAASUNTUOTTOA HEIKENTÄVÄT AINEET**

Biokaasuntuottoon heikentävästi vaikuttavia aineita (ammoniakki, haihtuvat rasvahapot) voi syntyä prosessin aikana tai niitä voi joutua prosessiin raaka-aineen mukana. Ammoniakkin aiheuttaman inhibition vaara on olemassa, kun prosessin raaka-aine sisältää runsaasti valkuaisaineita, lämpötila on korkea ja pH kohoaa. Jotkut proteiinit sisältävät myös rikkiä, mikä voi ilmetä prosessissa myrkyllisenä rikkivetynä ( $H_2S$ ) tai metalleja sitovana sulfidina ( $S^{2-}$ ). Raaka-aineen korkea rasvapitoisuus voi johtaa haihtuvien rasvahappojen kertymiseen ja sitä kautta metaanintuotannon ehtymiseen. Tietyt metallit (esim. Fe, Zn, Cu, Cr, Mn) ovat tärkeitä hivenaineita mikrobeille, mutta nämäkin voivat suurina pitoisuuksina haitata biokaasun tuottoa. Samoin vaikuttavat korkeat suolapitoisuudet. (Kymäläinen 2015d, 67)

### **Antibiootit ja desinfiointiaineet**

Antibiootteja ja desinfiointiaineita käytetään tuhoamaan mikrobeja tai ainakin estämään niiden kasvua. Desinfiointiaineita biokaasuprosessiin voi tulla esimerkiksi elintarvikelaitosten jätteiden tai erilaisten lanta- tai lieteperäisten raaka-aineiden mukana.

Triklosaani on laajalti kosmetiikassa ja hygieniatuotteissa käytettävä synteettinen antimikrobinen aine. Sen on todettu vaikuttavan pienentävästi anaerobisen prosessin metaanin-



tuottoon sekä mikrobiyhteisön koostumukseen. (McNamara ym. 2014, 7393). Triklosaanin on todettu edistävän antibioottiresistenssien mikrobikantojen lisääntymistä anaerobisessa systeemissä. Mikrobeilla on kuitenkin kyky sopeutua, kun aineen pitoisuus nousee vähitellen, joten haitallinen vaikutus metaanintuottoon voi jäädä vähäiseksi (Carey ym. 2016, 22).

Erytromysiinin on todettu pienentävän metaanintuottoa 1mg/l annoksella noin viisi prosenttia. Suuremmat annokset eivät vaikuttaneet enää metaanintuottoa alentavasti, mikä tutkijoiden mielestä osoitti prosessissa olevan antibiootille resistenttejä mikrobeja. Altistuminen antibiooteille voi johtaa esimerkiksi haihtuvien rasvahappojen kertymiseen hajoamisketjussa ja siten biokaasuprosessin epätasapainoon. (Mohammad ym. 2006, 3971) Sulfametoksatsolin puolestaan todettiin haittaavan nitrifikaatioprosessia. (Underwood 2011, 3096). Amfenikolin, penisilliinin, makrolidin ja sulfonamidin on havaittu pienentävän vähän tai ei ollenkaan metaanintuottoa anaerobisessa hajoamisessa. Osa antibiooteista myös hajosi viiden päivän käsittelyn aikana, mutta esimerkiksi sulfametatsiini oli pysyvä (Shannon 2013, 244).

### Muut biokaasun tuottoa heikentävät aineet

Antibioottien ja muiden lääkeaineiden lisäksi biokaasuprosessin raaka-aineena käytettävä jätevesiliete voi sisältää monenlaisia haitallisia aineita. PAH-yhdisteiden (polykloorattujen aromaattisten hiilivetyjen) ja dietyyliheksyyliftalaatin (DEHP) sekä AOX-yhdisteiden (adsorboituvat orgaaniset halogeeniyhdisteet) ja PCB:n (polyklooratut bifenyylit) hajoamista anaerobisessa prosessissa on tutkittu muun muassa vertaamalla mesofiilisen (35 °C) ja termofiilisen (55 °C) prosessin vaikutusta näiden aineiden pitoisuuteen lietteessä. Myös prosessissa syntyvän metaanin määrää mitattiin. Korkeampi lämpötila edisti aineiden hajoamista tai muuntumista prosessissa (taulukko 1). Esimerkiksi PAH-yhdisteistä 50–65 % hajosi termofiilisessä prosessissa, kun mesosiilisessä prosessissa hajoamista tapahtui 38–44 %. Molekyylipainoltaan kevyemmät PAH-yhdisteet hajosivat helpommin kuin vastaavat raskaammat yhdisteet. Ftalaateilla termofiilisessä käsittelyssä saavutettiin noin 50 % hajoaminen, kun mesofiilisessä prosessissa lukema oli 25 %:n luokkaa.

**Taulukko 1.** *Haitta-aineiden hajoaminen biokaasuprosessissa (Benabdallah 2006).*

Yhdiste	Mesofiilinen prosessi (35°C) reduktio-%	Termofiilinen prosessi (55°C) reduktio-%
PAH	38–44	50–65
DEHP	22–38	32–47
AOX	30–43	40–50
PCB	33–58	59–84

Lämpötilan ohella aineiden viipymäaika prosessissa vaikutti lietteen haitta-ainepitoisuuksiin. Pidempi käsittelyaika edisti kaikkien aineiden pitoisuuksien pienenemistä. (Benabdallah 2006, 57)

Useat kasvit voivat luonnostaan sisältää yhdisteitä, joiden on todettu vaikuttavan metaanintuotantoon. Kasvikunnasta on tunnistettu jo yli 8 000 fenolista yhdistettä, joita esiintyy esimerkiksi viljoissa, kaaleissa, hedelmissä, viinirypäleissä, viinissä ja erityisesti marjoissa. (Törrönen 2006a, 23). Erilaiset fenolit ovat laajalti käytössä teollisuuden raaka-aineina, ja koska fenoliset yhdisteet ovat yleisiä luonnossa, niitä esiintyy luonnollisesti paljon myös jätteissä, sekä jätevedessä että biojätteissä. Fenolisilla yhdisteillä on todettu olevan antimikrobisia ominaisuuksia esimerkiksi suolistomikrobien kasvua vastaan (Törrönen 2006b, 31). Fenolien on todettu vaikuttavan myös anaerobiseen hajoamisprosessiin pienentämällä prosessissa toimivien bakteerien entsyymaattista aktiivisuutta (Hernandez ym. 2008, 20).

Fenolien lisäksi kasveissa voi olla muitakin kemiallisia yhdisteitä, joilla voi olla vaikutusta, kun kasveja käytetään metaanintuotantoon. Eräs tällainen yhdiste on kumariini, jota löytyy mm. mesikästä (*Melilotus spp.*). Säilörehuun lisätyn kumariinin todettiin aluksi pienentävän biokaasuprosessissa syntyvän metaanin määrää, mutta noin kahden kuukauden tarkkailujakson jälkeen kumariinia sisältävät koe-erät tuottivat enemmän metaania kuin ilman kumariinia oleva vertailuerä. Tutkijoiden mukaan koe osoitti, että kumariini esti metaania tuottavien mikrobien kasvua, mutta ajan kuluessa ne pystyivät sopeutumaan kumariinin läsnäoloon, ja lopulta sitä pystyttiin hyödyntämään raaka-aineena metaanintuotannossa. (Popp ym 2015, 4)

## **MATERIAALIT JA MENETELMÄT**

MBR-liete on jäteveden puhdistuksessa käytettävän kalvobioreaktoriprosessin synnyttämää lietettä (MBR = Membrane BioReactor). Liette on hyvin vesipitoista, kuiva-ainepitoisuuden ollessa tyypillisesti noin yhden prosentin luokkaa. Liette sisältää jäteveden kiintoaineen, jota käytettävä 0,45  $\mu\text{m}$ :n huokoskokoinen kalvo ei läpäise. Liette sisältää jätevedessä esiintyviä puhdistusprosessissa hajoamatta jääneitä kemiallisia aineita. Näissä kokeissa käytetty MBR-liete oli Lappeenrannan teknillisen yliopiston Mikkelin pilottilaitteistolla tuotettua MBR-lietettä. Tämän kanssa sekoitettava bakteerisiirre eli ymppi saatiin Juvan Bioson Oy:n biokaasulaitokselta.

Tutkimuksessa selvitettiin panoskokein, minkälainen vaikutus lietteessä esiintyvillä erityyppisillä yksittäisillä aineilla (antibiootit ja muut antimikrobiset aineet, kipulääkkeet, rikkakasvien torjunta-aine) voi olla lietteen metaanintuotantoon. Työssä käytetyt aineet olivat:  
erä 1: sulfametoksatsoli, kefaleksiini, amoksisilliini  
erä 2: polymyksiini, kloramfenikoli, natamysiini  
erä 3: diklofenaakki, ibuprofeeni, parasetamoli, sykloheksimidi, triklosaani ja glyfosaatti.

Sulfametoksatsoli, kefaleksiini, amoksisilliini, polymyksiini, kloramfenikoli ja natamysiini ovat lääkeantibiootteja, diklofenaakki, ibuprofeeni ja parasetamoli kipulääkkeitä, sykloheksimidi ja triklosaani kulutustuotteissa käytettäviä antimikrobisia aineita ja glyfosaatti on rikkakasvien torjunta-aine.

Metaanintuottokokeet tehtiin panoskokeina 125 ml:n seerumipulloissa. MBR-lietteestä ja bakteerisiirteestä valmistettiin seos, jossa lietteessä olevan orgaanisen aineen massan suhde bakteerisiirteen orgaanisen aineen massa (VS-liete / VS-ympäri) oli noin 0,5. Sekä bakteerisiirteen että reaktioseoksen pH säädettiin noin seitsemään 1 mol/l suolahappoliuoksella. Jokaiseen seerumipulloon lisättiin pH:n muutoksia puskuroimaan 0,15 g NaHCO<sub>3</sub>:a. Näyte-erää kohti yhteen kolmen pullon sarjaan punnittiin 15 grammaa bakteerisiirrettä, ja kutakin tutkittavaa yhdistettä varten kolmen pullon sarjaan bakteerisiirteen ja MBR-lietteen seosta siten, että bakteerisiirteen osuus jokaisessa pullossa oli 15 grammaa. Pulloihin lisättiin 300 µg tutkittavaa yhdistettä ja hapetonta vettä siten, että reaktioseoksen tilavuus oli 50 ml. Pullot suljettiin tiiviisti alumiinitulpilla ja ne siirrettiin lämpökaappiin 38°C lämpötilaan. Biokaasun tuotto mitattiin noin kahden päivän välein vesivaa'alla sekä biokaasun metaanipitoisuus kaasukromatografilla. Kaasukromatografi Agilent Technologies GC/MS 7890A/5975C kalibroitiin metaani-hiilidioksidiseoksella (60%/40%), jota injektoidiin 5 x100 µl. Käytetty kolonni oli Perkin Elmer Alumina (mitat 30 m x 530 µm x 0,25 µm), ja ajot tehtiin vakio- lämpötilassa (100°C).

## TULOKSET JA NIIDEN TULKINTA

Noin neljän viikon mittaisen tarkastelujakson aikana tuotetun biokaasun tilavuus saatiin vähentämällä näyteseoksen tuottaman biokaasun tilavuudesta bakteerisiirteen tuottaman biokaasun tilavuus ja laskemalla yhteen koko tarkastelujakson aikana mitatut yksittäisten mittausten antamat tilavuudet. Metaanin tilavuusprosentti näytteissä laskettiin kaasukromatografisten ajosten perusteella seuraavasti:

$$\frac{A_{std}}{60\%} = \frac{A_{näyte}}{V_{näyte\%}} \rightarrow V_{näyte\%} = \frac{A_{näyte} \times 60\%}{A_{std}}$$

jossa

$A_{std}$  = standardipiikkien pinta-alojen keskiarvo

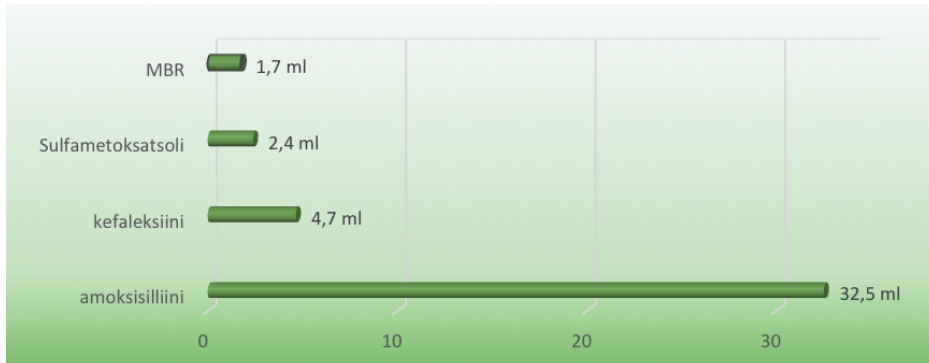
$A_{näyte}$  = näytepiikkien pinta-alojen keskiarvo

$V_{näyte\%}$  = metaanin tilavuusprosentti injektoidussa näytteessä

Metaanin tilavuus näytteen tuottamaa biokaasutilavuutta kohti saatiin kertomalla tuotetun biokaasun tilavuus metaanin tilavuusprosentilla ( $V_{näyte\%}$ ). Tästä vähennettiin bakteerisiirteen tuottaman metaanin osuus.

Erän yksi amoksisilliinia sisältäneissä näytteissä syntyi noin kolmen viikon ajan huomattava

tavasti enemmän biokaasua kuin MBR-lietteessä. Kefaleksiinia sisältäneiden näytteiden kaasuntuotto käynnistyi hitaasti, mutta noin kahden viikon jälkeen kaasuntuotto nousi selvästi. Sulfametoksatsolia sisältäneet näytteet tuottivat biokaasua lähes samalla tasolla kuin MBR-liete. Kaikki antibioottia sisältäneet näytteet tuottivat enemmän metaania kuin MBR-liete (kuva 1).



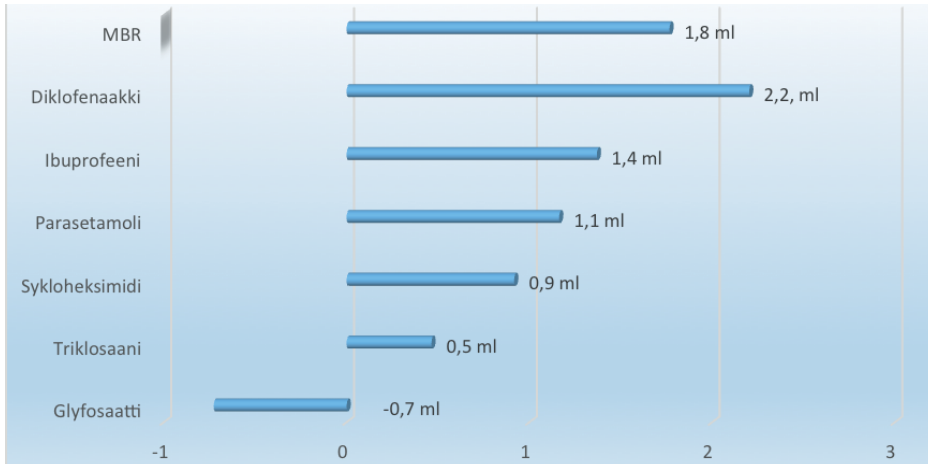
**Kuva 1.** Erä 1. Neljän viikon tarkastelujakson aikana tuotetun metaanin tilavuus (ml).

Amoksisilliinia sisältäneen näytteen tuottama metaanin tilavuus oli lähes 20-kertainen MBR-lietteen tuottaman metaanin tilavuuteen verrattuna. Erän kaksi metaanintuotanto käynnistyi muutaman päivän sisällä kokeen aloittamisesta, ja se kasvoi sykäyksittäin noin kahden viikon ajan, kunnes kääntyi laskuun. Kloramfenikolia sisältäneet näytteet tuottivat vähemmän metaania kuin MBR-liete tai kaksi muuta lisättyä antibioottia (polymysiini B ja kloramfenikoli) sisältäneet näytteet (kuva 2).



**Kuva 2.** Erä 2. Neljän viikon tarkastelujakson aikana tuotetun metaanin tilavuus (ml).

Polymyksiini B:tä ja natamysiiniä sisältäneet näytteet tuottivat metaania lähes saman tilavuuden kuin MBR-lietettä sisältävä näyte. Kolmannessa koe-erässä olleista näytteistä metaania tuottivat selkeästi MBR-lietettä vähemmän näytteet, jotka sisälsivät sykloheksimidiä, triklosaania ja glyfosaattia. Merkittävin vaikutus oli glyfosaatilla, joka näytti estävän myös bakteerisiirteen metaanintuottoa (kuva 3).



**Kuva 3.** Erä 3. Neljän viikon tarkastelujakson aikana tuotetun metaanin tilavuus (ml).

Kipulääkkeitä (diklofenaakkia, ibuprofeenia ja parasetamolia) sisältävien näytteiden metaanintuotto ei poikennut merkittävästi MBR-lietteen metaanintuotosta. Yhtenäistä kaikille näytteille oli, että biokaasuntuotannon käynnistymiseen kului yleensä kolmesta kuuteen päivää. Näytteiden biokaasuntuotanto tasaantui noin kahden viikon jälkeen pullotuksesta, minkä jälkeen se jatkui tasaisena vähentyen tarkastelujakson loppua kohden. Missään näytteessä biokaasuntuotanto ei lakannut kokonaan tarkastelujaksojen aikana. Kaasun metaanipitoisuus oli korkeimmillaan noin kahden viikon kuluttua kokeen aloittamisesta, minkä jälkeen sekin lähti tasaiseen laskuun.

## JOHTOPÄÄTÖKSET

Kokeissa mukana olleista aineista kaikkein haitallisin metaanintuotannon kannalta oli glyfosaatti. Biokaasua syntyi glyfosaattia sisältävistä näytteistä keskimäärin saman verran kuin muistakin näytteistä, mutta sen metaanipitoisuus oli hyvin alhainen. Samanlaisia vaikutuksia oli myös triklosaanilla, joka vähensi syntyneen metaanin määrää selkeästi. Toisaalta antibiooteista amoksisilliini näytti edistävän metaanin tuottoa voimakkaasti. Samansuuntainen, joskin huomattavasti lievempi, vaikutus oli myös kefaleksiinilla.

Optimaalisen metaanintuotannon takaamiseksi äkillisiä vaihteluita sekä raaka-aineessa että prosessin olosuhteissa tulisi välttää. Mikrobit voivat vähitellen sopeutua muuttuneisiin olosuhteisiin, mikä voi johtaa esimerkiksi antibiooteille tai muille antimikrobisille aineille resistenttien bakteerikantojen syntyyn. Toisaalta mikrobit voivat sopeutua hajottamaan myös niille haitallisia aineita.

## LÄHTEET

Benabdallah E-H.T. 2006. Biodegradation of Organic Micropollutants in Thermophilic and Mesophilic Anaerobic Digestion of Sewage Sludge. Väitöskirja. Madridin yliopisto. Saatavissa: <http://www.tdx.cat/handle/10803/1528> [viitattu 3.11.2017].

Carey D.E. & McNamara P. 2016. Altered antibiotic tolerance in anaerobic digesters acclimated to triclosan or triclocarban. *Chemosphere* 163.

Hernandez, J.E. & Edyvean, R.G.J. 2008. Inhibition of biogas production and biodegradability by substituted phenolic compounds in anaerobic sludge. *Journal of Hazardous Materials* 160

Kymäläinen, M. & Pakarinen, O. (toim.) 2015. Biokaasuteknologia, raaka-aineet, prosessointi ja lopputuotteiden hyödyntäminen, Hämeen ammattikorkeakoulu.

McNamara, P.J., LaPara, T.M., Novak, P. J. 2014. Impacts of Triclosan on Anaerobic Community Structures, Function, and Antimicrobial Resistance. *Environmental Science & Technology* 48 (13)

Mohammad, M., Zilles J., Greiner J., Charbonneau S., Raskin L., & Morgenroth, E. 2006. Influence of the Erythromycin on Anaerobic Treatment of a Pharmaceutical Wastewater. *Environmental Science & Technology* 40 (12)

Neves, L, Oliveira, R, Alves M.M, 2003. Influence of inoculum activity on the bio-methanization of a kitchen waste under different waste/inoculum ratios. University of Minho, Portugal. Päivitetty 2.6.2003. Saatavissa: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0032959203003923> [Viitattu 21.10.2017].

Popp, D., Schrader, S., Kleinstüber, S., Harms H. & Strauber, H. 2015. Biogas production from coumarin-rich plants—inhibition by coumarin and recovery by adaptation of the bacterial community. *Microbiology Ecology* 9. Saatavissa: <https://academic.oup.com/femsec/article/91/9/fiv103/848562/Biogas-production-from-coumarin-rich-plants> [viitattu 3.11.2017].

Shannon M., Mitchell, J.L., Ullman, A.L. Teel R. J. Watts C.F. 2013. The effects of the antibiotics ampicillin, florfenicol, sulfamethazine, and tylosin on biogas production and their degradation efficiency during anaerobic digestion. *Bioresource Technology* 149

Törrönen, R. 2006. Tutkimustietoa marjojen terveellisyydestä. Elintarvikkeiden terveystuikutusten tutkimuskeskus (ETTK). Kliinisen ravitsemustieteen yksikkö, Kuopion yliopisto.

Underwood, J.C., Harvey, R.W., Metge, D.W., Repert, D.A. Baumgartner, L.K. Smith, R.L., Roane, T.M. & Barber, and L. B. Effects of the Antimicrobial Sulfamethoxazole on Groundwater Bacterial Enrichment 2011. *Environmental Science & Technology*, 45 (7)

# KEMIKAALIT KIERTOTALOUDESSA

Marjatta Lehesvaara

Suomi haluaa olla kiertotalouden mallimaa. Maaliskuussa 2017 pidetyillä Kemian päivillä paneuduttiin kiertotalouden haasteisiin, joita aiheuttavat kierrätysmateriaalien mahdollisesti sisältämät ympäristölle ja ihmisen terveydelle haitalliset kemikaalit. Suomen Ympäristötieteellisen Seuran ja Kemian Seurojen järjestämän kiertotalouden ohjelmakokonaisuuden aiheena oli Kemikaalit kiertotaloudessa – näemmekö koko kuvan. Seminaarissa käsiteltiin muun muassa muovien hyödyntämistä kiertotaloudessa, mutta myös näiden materiaalien hyödyntämiseen liittyviä kemiallisia haasteita. Kesäkuussa 2017 Suomessa järjestettiin Suomen itsenäisyyden juhlarahaston (Sitra) ja sen kansanvälisten yhteistyökumppaneiden toimesta maailmanlaajuisesti ensimmäinen kiertotaloutta laajasti käsittelevä konferenssi, World Circular Economy Forum (WCEF2017).

## KESKEISET HAASTEET KEMIKAALIRISKIEN HALLINNAN NÄKÖKULMASTA

Kiertotalous ei ole pelkästään kierrätystä, vaan pyrkimyksenä on säilyttää materiaalien arvo mahdollisimman pitkään. Jätteen synnyn ehkäisy onkin yksi kiertotalouden ensisijaisista tavoitteista. Pyrkimyksessä resurssitehokkuuteen on kuitenkin otettava myös huomioon, mitä kaikkea lähtee kiertoon materiaalien mukana.

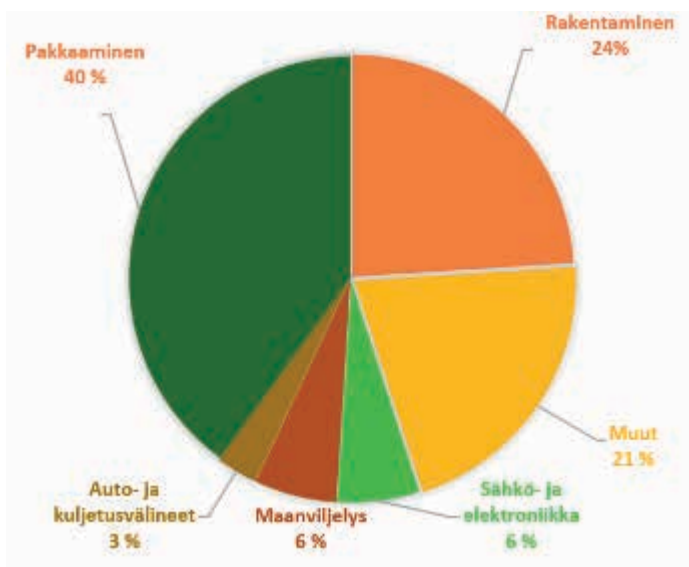
Kierrätettävät materiaalit ovat koostumukseltaan, iältään ja alkuperältään hyvin vaihtelevia. Siksi materiaalien uudelleenkäyttöön voi liittyä riski haitallisten aineiden palaamisesta kiertoon. Vaikka haitallisiksi tunnettujen yhdisteiden valmistus ja käyttö on voinut olla kiellettyä jo vuosien ajan, aineita esiintyy jätteiksi tulevissa tuotteissa jopa vuosikymmenien viiveellä. Tähän vaikuttavat muun muassa tuotteiden pitkät käyttöiät. Esimerkiksi autot romutetaan Suomessa keskimäärin 20 vuoden iässä.

Eräs keskeinen materiaalien kierrätettävyyteen liittyvä haaste on tiedonpuute tuotteiden sisältämistä vaarallisista tai huolta aiheuttavista kemikaaleista sekä niiden ominaisuuksista. Tietoa tarvitaan, jotta voidaan tunnistaa ja arvioida ne kemikaalit, jotka voivat aiheuttaa haittaa kiertotaloudelle. Toisaalta tulee myös tunnistaa ne kemikaalit, jotka voidaan kierrättää. Tietoa tarvitaan kemikaaleista koko toimitusketjussa ja kierrätysvaiheessa. Keskeiset keinot haitallisten aineiden aiheuttamien riskien hallintaan ovat hyvä tuotesuunnittelu ja tuotteen kemikaalitiedon siirtyminen tuotteen mukana. Kemikaalitiedon siirtyminen tuotteen mukana mahdollistaa kemikaalien hallinnan koko tuotteen elinkaaren ajan kierrätysvaihetta myöten (Kivelä 2017).



## MUOVIT JA NIIDEN SISÄLTÄMÄT KEMIKAALIT

Muoveilla on paljon hyviä ominaisuuksia, ja sen vuoksi erilaisten muovien käyttö on yleistynyt eri toiminnoissa ja tuotteissa. Keveytensä ansiosta muovi on hyvää materiaalia pakkauksiin tai autojen ja lentokoneiden valmistukseen. Muovit ovat useimmiten peräisin öljyn- tai maakaasunjalostusteollisuuden sivuvirroista, mutta muoveja voidaan valmistaa myös biologisista prosesseista saatavista lähtöaineista. Vuonna 2013 Euroopassa tuotettiin erilaisia muoveja noin 57 miljoonaa tonnia. Suurimmat käyttökohteet niin Suomessa kuin Euroopassakin ovat pakkaus- ja rakennusteollisuudessa (kuva 1).



**Kuva 1.** Muovien käyttökohteet Suomessa (kuva mukaillen Eskelinen ym. 2016).

On arvioitu, että noin 50 prosenttia muovituotteista on lyhytikäisiä kertakäyttötuotteita, kuten elintarvikepakkauksia tai maatalouden muovikalvoja. Tällaiset muovit päätyvät nopeasti valmistuksen jälkeen jätteeksi. EU:ssa pakkausmuovin osuus on jopa 62 prosenttia muovijätteen kokonaismäärä (Eskelinen ym. 2016, 9). Joidenkin arvioiden mukaan Euroopassa kierrätetään noin kolmasosa vuosittain käytöstä poistetuista muovituotteista (Dahlbo 2017). Puhtaista polymeereistä valmistetut muovit eivät usein sovellu sellaisinaan käyttöön, vaan tuotteen ominaisuuksien parantamiseksi materiaaliin lisätään erilaisia lisäaineita. Lisättävien yhdisteiden määrä vaihtelee yhdisteestä ja muovilaadusta riippuen (taulukko 1) (Fjäder 2016).

**Taulukko 1.** Muovien lisäaineita (Fjäder 2016).

Additiivi	lisätty määrä % ww	Tietoa	Yhdiste
Pehmentimet	10–70	Noin 80 % käytetty PVC:lle ja loput selluloosapohjaisille muoveille	Lyhyet ja keskipitkät klooratut parafiinit (SCCP–MCCP); Di-iso-heptyyliftalaatti (DIHP); Bentsyylibutyyliftalaatti (BBP); Bis (2-etyyliheksyyli) ftalaatti (DEHP); Bis (2-metoksietyyli) ftalaatti (DMEP); Dibutyyliftalaatti (DBP); Di-isobutyyliftalaatti (DiPB); Tris (2-kloroetyyli) fosfaatti (TCEP)
Palonsuoja-aineet	12–18 (bromatuille)	Kolme ryhmää: orgaaniset; non-reaktiiviset, reaktiiviset; epäorgaaniset	Lyhyet ja keskipitkät klooratut parafiinit (SCCP–MCCP); Boorihappo; Bromatut palonsuoja-aineet; Tris (2-kloroetyyli) fosfaatti (TCEP)
Stabilaattorit	0,05–3	Määrä riippuu lisäaineen kemiallisesta rakenteesta ja muovipolymeeristä. Fenolisia antioksidantteja käytetään alhaisina pitoisuuksina kun taas fosfiitteja korkeina. Alhaisimpia pitoisuuksia polyolefiineissa (LLDPE, HDPE), korkeampia HIPS ja ABS.	Bisfenoli A (BPA); Kadmiumyhdisteet; Lyijy-yhdisteet; Nonyylifenolit; Oktyylifenolit.

Lisäaineiden tarkoituksena on lisätä muovin joustavuutta, toimia väriaineina, estää muovien hajoaminen esimerkiksi UV-säteilyn johdosta tai toimia palonsuoja-aineena. Bromipohjaisia palonestoaineita on ollut käytössä 25 vuotta, ja osa näistä yhdisteistä on todettu rasvaliukoisiksi, kertyviksi ja kulkeutuviksi. Etenkin muovien sisältämien bromiyhdisteiden käyttöä on rajoitettu. Tällaisia yhdisteitä ovat esimerkiksi polybromatut difenyleetterit (PBDE) ja heksabromosyklododekaani (HBCD) (Myllymaa 2016).

## POP-YHDISTEET JA SVHC-AINEET

POP-yhdisteet (Persistent Organic Pollutant) ovat pysyviä orgaanisia yhdisteitä, jotka ovat pitkäikäisiä, kulkeutuvia ja eliöihin kertyviä. Ne voivat aiheuttaa jo pieninä pitoisuuksina vakavia haittoja ympäristölle ja ihmisen terveydelle. POP-yhdisteiden käyttöä on rajoitettu

vuodesta 2001 alkaen. Nykyisin POP-yhdisteiksi luokiteltuja aineita on 28. Osa on jo käytöstä poistuneita torjunta-aineita, mutta joukossa on esimerkiksi sähkö- ja elektroniikkalaitteiden ja ajoneuvojen muoviosissa palonsuoja-aineina käytettyjä orgaanisia bromiyhdisteitä. POP-yhdisteiksi luokiteltuja kemikaaleja on käytetty pintakäsittelykemikaaleissa sekä lisäaineina erilaisissa muovipohjaisissa polymeereissä. POP-yhdisteitä sisältäviä polymeerejä on käytetty laajasti sähkö- ja elektroniikkalaitteissa, ajoneuvoissa, tekstiileissä ja huonekaluissa sekä myös rakennusmateriaaleissa (<http://www.ymparisto.fi/pop>).

Vaikka POP-yhdisteiden valmistus ja käyttö on kielletty jo 2000-luvun alussa, aineita löytyy jätteiksi tulevista tuotteista pitkään. Sähkö- ja elektroniikkaromusta (SER), romuajoneuvoista, käytöstä poistetuista huonekaluista ja rakennus- ja purkujätteistä on mitattu korkeitakin POP-yhdisteiden pitoisuuksia. Näiden jätejakeiden kierrättäminen sellaisenaan uusiomateriaaleiksi johtaisi POP-yhdisteiden edelleen leviämiseen, mikäli aineita ei poisteta jätteistä ennen materiaalien kierrätystä.

REACH on Euroopan yhteisön asetus (EY 1907/2006) kemikaaleista ja niiden turvallisesta käytöstä. Kun esine sisältää yli 0,1 painoprosenttia Reach-asetuksen niin sanotulla kandidaattilistalla olevia erityistä huolta aiheuttavia aineita eli ns. SVHC-aineita (substances of very high concern), esineiden toimittajien on toimitettava esineen vastaanottajille riittävästi tietoa esineen turvallisen käytön mahdollistamiseksi. (<https://echa.europa.eu>)

Kandidaattilistan aineet voivat olla syöpää aiheuttavia, sukusolujen perimää vaurioittavia, lisääntymiselle vaarallisia, hitaasti hajoavia, biokertyviä ja myrkyllisiä (PBT-aineita) tai erittäin hitaasti hajoavia ja erittäin voimakkaasti biokertyviä (vPvB-aineita) aineita. Näiden osalta on tieteellisiä todisteita todennäköisistä vakavista vaikutuksista ihmisten terveydelle tai ympäristölle. Esimerkiksi jotkin muovien pehmentiminä käytetyt ftalaatit ovat kandidaattilistan aineita. Kesäkuussa 2017 kandidaattilistalla oli 173 ainetta, ja lista päivittyy koko ajan sitä mukaa, kun tieto kemiallisten aineiden ominaisuuksista lisääntyy. (<https://echa.europa.eu>)

Esimerkkinä kierrätyksen ongelma-aineista on sekä POP-yhdisteeksi että SVHC-aineeksi luokiteltu palonestoaine HBCD (heksabromisyklododekaani). Se on pysyvä, kaukokulkeutuva, rasvaliukoinen ja kertyy eliöiden rasvakudokseen. Se on erittäin myrkyllistä vesieläimille, ja sen on myös todettu aiheuttavan ongelmia lintujen lisääntymiselle. Nisäkkäillä altistus aiheuttaa lisääntymis- ja kehityshäiriöitä sekä häiritsee kilpirauhasaineenvaihduntaa ja mahdollisesti myös hermoston toimintaa. Ihminen altistuu HBCD:lle erityisesti ruuan ja huonepölyn välityksellä. Suomessa HBCD:tä on erityisesti joissakin palosuojuissa eristeissä. Sitä voi olla myös pakkausmateriaaleissa ja huonekaluissa, kuten palosuojuilla styroksilla täytetyissä säkkituoleissa. (<http://www.ym.fi>)

EU:ssa POP-asetus rajoittaa POP-yhdisteitä sisältävien jätteiden kierrätystä. Käynnissä on POP-asetuksen jätehuoltoa koskevan osion uudistus, jossa jätehuoltovelvoitteita koskeviin liitteisiin lisätään kiellettyjä yhdisteitä ja säädetään vähimmäispitoisuudet (alempi raja-arvo), joiden ylittyessä jäte on käsiteltävä POP-jätteenä. Raja-arvot määritellään vielä muun muassa palonsuoja-aineina käytetyille tetra-, penta-, hepta- ja heksabromidifenyylieetterille (PBDE-yhdisteet) sekä pintakäsittelyaine perfluorioktaanisulfonihapolle (PFOS) ja sen johdannaisille. (Moliis & Myllymaa 2013, 18)

## HAASTEISIIN VASTAAMINEN

Kierrätysala voi joutua ottamaan käyttöön uusia menetelmiä eri muovilaatujen ja niiden sisältämien haitallisten yhdisteiden tunnistamiseksi ja erottelemiseksi. Tällä hetkellä on jo käytössä erilaisia pesu- ja lajittelutekniikoita ja suoria analyysimenetelmiä, jotka tunnistavat eri muovipolymeerit ja käytetyt täyteaineet. Suoria menetelmiä ovat esimerkiksi massaspektroskopia, XRF (X-ray fluorescence), plasmasspektroskopia, infrapunaspektroskopia tai Raman-spektroskopia. (Eskelinen ym. 2016, 24)

Uusia pikamittaustekniikoita sekä täsmällisiä vertailukelpoisia analyysimenetelmiä tarvitaan kuitenkin lisää. On myös kehitettävä työkaluja haitattomien vaihtoehtojen löytämiseksi. Erilaiset tietokannat materiaalien sisältämistä yhdisteistä olisivat tarpeen. Suomessa Rakennustietosäätiö on julkaissut Urakoitsijan tuotetieto -nimisen sovelluksen, jonka avulla uudelle rakennukselle voidaan kirjoittaa oma tuoteseloste. Siihen dokumentoidaan käytettyjen tuotteiden tiedot ja liitetään esimerkiksi käyttöturvallisuustiedotteet. Ne sisältävät myös kemikaalien vaaralausekkeet eli tietoja materiaalien haitallisista aineista. Aineisto liitetään mukaan kiinteistön huoltokirjaan (Pulkkinen K. 2016). Tiedon tarve eri aloilla kasvaa koko ajan, sillä uudentyyppisiä materiaaleja tulee koko ajan lisää.

## LÄHTEET

Dahlbo H., 2016. Suomen ympäristökeskus SYKE, Muovijätteet raaka-aineena, esitys 24.11.2016

Eskelinen, H., Haavisto, T. Salmenperä H., Dahlbo H, Muovien kierrätyksen tilanne ja haasteet, Clic Innovation Oy, 2016

Fjäder P. 2016. Merten roskaantuminen, muovit, mikromuovit ja haitalliset aineet, Suomen ympäristökeskuksen raportteja 37 <https://helda.helsinki.fi/handle/10138/167421> [viitattu 24.10.2017]

Kivelä P, 2016, Ympäristöministeriö, Kemikaalit ja kiertotalous, Kemikaaliohjelman julkistamistilaisuus, esitys 12.5.2017.

Moliis K. ja Myllymaa T. 2013. Palonesto- ja pintakäsittelyaineina käytetyt POP-yhdisteet aiheuttavat haasteita jätteiden kierrätykselle, Ympäristö ja Terveys-lehti 7

Myllymaa T., 2015, Suomen ympäristökeskus SYKE Jätehuolto ja kierrättäminen – näkökulmana haitalliset aineet, saatavissa: <http://www.helsinki.fi/ymparistotieteet/> [viitattu 24.10.2017]

Pulkkinen K. 2016. Purkumateriaalit – Kiertotalouden pommi, Kemia 6, 6-8 <https://echa.europa.eu/fi/regulations/reach/candidate-list-substances-in-articles> [viitattu 24.10.2017]

[http://www.ym.fi/fi/Ymparisto/Palonsuojaaine\\_HBCD\\_kielletaan\\_maailmanl](http://www.ym.fi/fi/Ymparisto/Palonsuojaaine_HBCD_kielletaan_maailmanl) [viitattu 24.10.2017]

# LÄÄKEAINEIDEN JA ANTI-MIKROBISTEN AINEIDEN VÄHENTÄMINEN MBR-LIETTEESTÄ

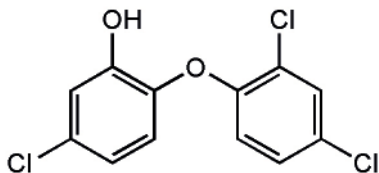
Marjatta Lehesvaara & Katja Forsell & Henna Lönnfors

Jätevesien käsittelyssä syntyy lietettä, joka voi sisältää runsaasti puhdistusprosessissa hajoamattomia kemiallisia aineita. Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulussa (Xamk) on Smart Effluents -hankkeeseen liittyen tutkittu, miten eri käsittelymenetelmät vaikuttavat yksittäisten lääkeaineiden ja antimikrobisten aineiden pitoisuuteen MBR-lietteessä, josta syntyy käsiteltävässä jätevettä kalvopuhdistusmenetelmällä. Smart Effluents -projektin tavoitteena on kehittää uusi kokonaisvaltainen jätevedenkäsittelyn puhdistusjärjestelmä tulevaisuuden haasteita silmällä pitäen. Smart Effluents -hankekokonaisuuden yritysyöryhmän muodostavat BioGTS Oy, Metsäsairila Oy, Mikkelin vesilaitos, Mipro Oy ja Aquazone Oy. Julkisen tutkimushankkeen osiota toteuttavat Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu Oy ja Lappeenrannan teknillisen yliopiston Vihreän kemian laboratorio. Hanke saa rahoitusta Tekesin ohjelmasta Green Growth – Tie kestävään talouteen 2011–2015.

## LÄÄKEAINEET JA ANTIMIKROBISET AINEET JÄTEVESILIETTEESSÄ

Jätevesilietettä syntyy Suomessa vuosittain noin miljoona kuutiometriä. Tästä on kuivaainetta noin 150 000 tonnia. (Eurostat 2017.) Lietettä voidaan hyödyntää muun muassa maataloudessa, viherrakentamisessa, raaka- tai apuaineena, maa- ja vesirakennusmateriaalina sekä energiana. Jäteveden sisältämiä aineita jää puhdistusprosessin jälkeen jätevesilietteeseen, ja niillä voi olla vaikutusta sen jatkokäyttöön. Liete sisältää maataloudelle tärkeitä ravinteita, erityisesti fosforia, mutta sen sisältämät aineet, kuten lääkeaineet, rajoittavat sen käyttöä.

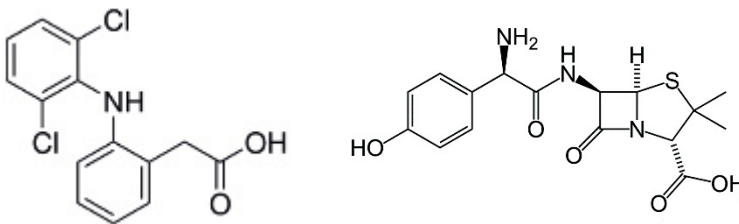
Antibiootit ja muut antimikrobiset aineet voivat varsinkin korkeina pitoisuuksina haitata biokaasun tuotantoa tai johtaa resistenttien bakteerikantojen syntyyn. Yksittäisistä aineista erityisen kiinnostuksen kohteena on tällä hetkellä triklosaani (kuva 1). Se on laajalti kosmetiikassa ja muissa kulutustuotteissa käytetty mikrobien kasvua estävä aine.



*Kuva 1. Triklosaani (Kuva <https://commons.wikimedia.org>).*

Triklosaani on hydrofobinen yhdiste, joka voi kertyä rasvakudokseen. Aine on akuutisti myrkyllinen ympäristön eliöille jo erittäin pienissä pitoisuuksissa. Biokertyvyyden vuoksi aineen kroonisista vaikutuksista olisi saatava lisää tietoa. Toksisuuden lisäksi on arvioitu, että triklosaani vaikuttaisi resistenttien bakteerikantojen syntymiseen. (Vieno 2015)

Kemiallisten aineiden ominaisuudet vaihtelevat niiden molekyylikoosta ja yhdisteiden sisältämien reagoivien ryhmien eli funktionaalisten ryhmien laadusta riippuen. Ne vaikuttavat sekä aineiden liukoisuusominaisuuksiin että siihen, miten aineet käyttäytyvät muiden aineiden kanssa tai jäteveden puhdistusprosessissa. Osa aineista voi sitoutua lietteeseen, osa voi pysyä veteen liuenneena ja osa jopa välttää puhdistusprosessin. Lääkeaineet ja muut orgaaniset yhdisteet sisältävät usein aromaattisia renkaita, hydroksiryhmiä sekä happo- ja aminoryhmiä. Lisäksi niissä voi olla myös halogeeniatomeja, kuten diklofenaakissa, tai rikkiä, kuten amoksisilliinissä (kuva 2).



**Kuva 2.** Diklofenaakki (vasemmalla), amoksisilliini (oikealla) (kuva <https://commons.wikimedia.org>).

Mitä useampia funktionaalisia ryhmiä yhdiste sisältää, sitä enemmän siinä on kohtia, jotka voivat reagoida eri prosesseissa. Esimerkiksi hydroksi-, happo- ja aminoryhmät reagoivat ympäröivän liuoksen pH:n muutoksiin.

## LÄÄKEAINEIDEN VÄHENTÄMISMENETELMÄT

### Materiaalit

MBR-liete oli Lappeenrannan teknillisen yliopiston Mikkelin Kenkäveronniemen jätevedenpuhdistamon koelaitoksen tuottamaa lietettä (kuiva-ainetta noin 1 %). Käytetyt kemikaalit: p-propyylibentsoehappo, >98% Alfa Aesar, booritrifluoridi 12 % Agros Organics, kofeiini 98,5 % BDH, Irgasan (triklosaani) > 95,7 % Sigma Aldrich, sykloheksimidi (mikrobiologinen laatu) 0,1 % Sigma Aldrich, etyyliasettaatti pa-laatu, VWR-Chemicals. Kokeessa käytettävät koelaitteet: Kaasukromatografi: Agilent Technologies GC/MS, 7890A/5975C ja kolonni Zebron ZB-35HT, mitat 30 m x 250 um x 0,25 um. Ultraäänihaude: Finnsonic m03.

## Menetelmät

Jokaiselle tutkittavalle aineelle (triklosaani, sykloheksimidi, asetaminofeeni, diklofenaakki, ibuprofeeni) määritettiin aluksi perustaso, johon käsittelymenetelmien vaikutusta verrattiin. Noin 200 millilitraan peruslietettä lisättiin yksi milligramma tutkittavaa ainetta, ja lietettä sekoitettiin magneettisekoittajalla kymmenen minuuttia. Kunkin tutkittavan aineen pitoisuustasoa eri käsittelyjen jälkeen verrattiin nollassoon. Lietteen käsittelymenetelmiä olivat lämpö-, ultraääni- ja peretikkahappokäsittely.

Lämpökäsittelyssä MBR-lietettä sekoitettiin magneettisekoittajalla 70 °C:n lämpötilassa. Ultraäänimenetelmässä lietettä käsiteltiin ultraäänellä, jonka taajuus oli 40 kHz, ja peretikkahappokäsittelyssä lietteeseen lisättiin noin 39 prosenttia etikkahappoa. Käsittelyaika kussakin menetelmässä oli yksi tunti ennen tutkittavan aineen eristämistä.

## LÄÄKEAINEIDEN ERISTÄMINEN JA ANALYSOINTI

Käsittelyn jälkeen lietteen pH säädettiin kahteen suolahapolla (HCl), ja lietteen joukkoon lisättiin noin viisi grammaa natriumkloridia (NaCl) sekä yksi milligramma sisäistä standardia (p-hydroksibentsoehappo tai kofeiini). Tutkittava aine eristettiin ravistelemalla lieteestä etyyliasetaatilla erotussuppilossa. Etyyliasetaatiliuos kuivattiin MgSO<sub>4</sub>:lla, minkä jälkeen liuotin haihdutettiin pyöröhaihduttajalla ja haihdutusjäännöksessä olevan tutkittavan aineen pitoisuus määritettiin kaasukromatografisesti.

Ibuprofeeni ja diklofenaakki ovat happoja, ja ne metyloitiin ennen analysointia (Orata, 2012). Haihdutusjäännökseen lisättiin kaksi millilitraa BF<sub>3</sub>-metanoliliuosta, ja liuos siirrettiin kierrekorkilliseen koeputkeen, joka suljettiin tiiviisti. Koeputkea pidettiin vesihauteessa + 85°C:ssa kahden tunnin ajan. Tämän jälkeen putket jäähdytettiin ja niihin lisättiin kolme millilitraa viisiprosenttista Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>-liuosta. Seos uutettiin 3 \* 2 millilitralla petrolieetteriä. Petrolieetteri pestiin kahdella millilitralla tislattua vettä ja kuivattiin MgSO<sub>4</sub>:lla. Tämän jälkeen liuos haihdutettiin noin 1,5 millilitraksi typpivirrassa ja analysoitiin kaasukromatografilla.

Näytteet analysoitiin kaasukromatografisesti Agilent Technologies GC/Fid-systeemillä. Lämpötilaohjelmassa alkulämpötila oli 50°C (1 min) ja lämpötilan nousu 10°C/min, lopulämpötila oli 280°C (10 min). Kromatogrammeista identifioitiin sisäisen standardin ja tutkittavan yhdisteen piikit. Piikkien pinta-alat saatiin integroimalla piikit manuaalisesti, ja kullekin tutkittavalle yhdisteelle laskettiin suhde:  $\frac{A_a}{A_{sis\ std}}$ , jossa A<sub>a</sub> on tutkittavan aineen piikin pinta-ala ja A<sub>sis std</sub> on sisäisen standardin piikin pinta-ala.



## TULOKSET JA NIIDEN TARKASTELU

Käsittelymenetelmien vaikutusta aineiden pitoisuuksiin lietteessä arvioitiin vertaamalla kunkin tutkittavan aineen suhdelukua  $\frac{A_a}{A_{sis\ std}}$  käsittelyn jälkeen suhdelukuun, joka saatiin, kun määritettiin aineen perustaso ennen käsittelyä (taulukko 1). Taulukossa 1 0=perustaso, L=lämpökäsittely, UÄ=ultraääni, PE=peretikkahappokäsittely.

**Taulukko 1.** Tutkittavan aineen piikin pinta-alan ( $A_a$ ) suhte sisäisen standardin piikin pinta-alaan ( $A_{sis\ std}$ ).

Aine	$\frac{A_a}{A_{sis\ std}}$
Asetaminofeeni, sarja 1 (O)	1,38
Asetaminofeeni, sarja 1 (L)	1,25
Asetaminofeeni, sarja 1 (UÄ)	0,00
Asetaminofeeni, sarja 1 (PE)	0,96
Asetaminofeeni, sarja 2 (O)	2,8
Asetaminofeeni, sarja 2 (L)	1,2
Asetaminofeeni, sarja 2 (UÄ)	5,9
Asetaminofeeni, sarja 2 (PE)	0,3
Diklofenaakki, (O)	1,2
Diklofenaakki, (L)	0,8
Diklofenaakki, (UÄ)	0,0
Diklofenaakki, (PE)	1,0
Ibuprofeeni (O)	1,2
Ibuprofeeni (L)	1,2
Ibuprofeeni (UÄ)	1,2
Ibuprofeeni (PE)	1,2
Sykloheksimidi (O)	1,3
Sykloheksimidi (L)	0,5
Sykloheksimidi (UÄ)	0,9
Sykloheksimidi (PE)	16,1
Triklorsaani (O)	9,9
Triklorsaani (L)	5,9
Triklorsaani (UÄ)	216
Triklorsaani (PE)	16,8

Kaikilla käsittelymenetelmillä voidaan todeta olevan vaikutusta aineiden pitoisuuksiin lietteessä. Joidenkin menetelmien kohdalla (asetaminofeeni sarja 2 (UÄ), triklosaani (UÄ), triklosaani (PE)) suhdeluku  $\frac{A_a}{A_{sis\ std}}$  näyttää kasvaneen perustasoon verrattuna. Näyte lämpeni ultraäänikäsitteilyn aikana, vaikka käsitteelyyn ei kuulunut korotettua lämpötilaa. Sisäisen standardin lisääminen huoneenlämpötilaa lämpimämpään näytteeseen on saattanut pienentää myös sisäisen standardin pitoisuutta näytteessä. Tämä johtaa suhdeluvun  $\frac{A_a}{A_{sis\ std}}$  kasvuun. Peretikkahappokäsittelyssä puolestaan peretikkahappo reagoi vielä eristysvaiheessa, mikä on myös voinut pienentää sisäisen standardin pitoisuutta.

## YHTEENVETO

Jätevedenpuhdistusprosessissa kemialliset aineet voivat hajota tai muuntua toisiksi aineiksi. Ne voivat pysyä veteen liuenneena tai pidentyä lietteeseen. Osa aineista voi läpäistä prosessin sellaisenaan ja päätyä puhdistetun veden mukana ympäristöön. Aineiden kemialliset ominaisuudet ja niiden rasva- tai vesiliukoisuus vaikuttavat ratkaisevasti aineiden käyttäytymiseen. Kaikilla tämän hankkeen puitteissa toteutetuilla käsittelymenetelmillä voidaan todeta olevan aineiden pitoisuuksia lietteessä pienentävä vaikutus. Näissä kokeissa testattiin, miten käsitteilyt vaikuttavat yksittäisten aineiden pitoisuuksiin, mutta käsittelymenetelmät luonnollisesti aiheuttavat muutoksia koko lietteen koostumuksessa. Jos lietettä halutaan käsitellä kemiallisilla menetelmillä (esim. peretikkahappo), tulee annostuksen optimointiin kiinnittää huomiota. Annostuksella tulee saada aikaan riittävä teho, mutta yliannostelulla ei tulisi liikaa vaikuttaa lietteen ominaisuuksiin sen jatkokäsittelyä ajatellen. Tuskin mikään käsittelymenetelmä yksin on myöskään riittävä poistamaan kaikkia orgaanisia haitta-aineita lietteistä. Yhdistelemällä erilaisia käsittelymenetelmiä voidaan lietteenkäsittelyssä kuitenkin päästä hyviin tuloksiin haitta-aineiden poistossa.

## LÄHTEET

Eurostat. 2017. Sewage sludge production and disposal. Päivitetty 15.9.2017. <http://appsso.eurostat.ec.europa.eu/> [viitattu 25.10.2017]

Vieno, N. 2015. Haitta-aineet puhdistamo- ja hajalietteessä. Vantaanjoen ja Helsingin seudun vesiensuojeluyhdistys ry. Julkaisu 73/2015. [http://www.vhvsy.fi/files/upload\\_pdf/5004/Julkaistu%2073\\_2015.pdf](http://www.vhvsy.fi/files/upload_pdf/5004/Julkaistu%2073_2015.pdf)

Orata, F. 2012. Derivatization Reactions and Reagents for Gas Chromatography Analysis, Advanced Gas Chromatography - Progress in Agricultural, Biomedical and Industrial Applications. <http://www.intechopen.com/>

# HEVOSENLANNAN POLTON SIVU- TUOTTEINA SAATAVIEN TUHKIEN KÄYTTÖMAHDOLLISUUDET LANNOITTEINA

Riikka Tanskanen & Hanne Soininen & Heikki Tirkkonen & Harri Karhu

HevosWoima-hankkeessa (Esiselvitys Etelä-Savon hevostalouden materiaalivirtojen hyödyntämisestä uusiutuvana energiana -hanke, 1.3.2016–28.2.2017) tutkittiin hevosenlannan energiahyödyntämisen mahdollisuuksia polttamalla Etelä-Savossa (kuva 1). Hankkeessa toteutettiin hevosenlannan polttokokeita pienessä mittakaavassa puupellettien ja hevosenlantapellettien seoksina sekä energiantuotantolaitoksessa jyrshinturpeen ja hevosenlannan polttokokeina (Tanskanen toim. 2017). Hankkeen julkaistuissa tuloksissa tarkasteltiin energiantuotantolaitoksessa hevosenlannan polttoprosessin sivutuotteena syntyvän tuhkan hyötykäytön mahdollisuuksia haitallisten metallipitoisuuksien valossa metsätuhkana ja muussa käytössä (Evira 2017) sekä maanrakentamiskäytössä (VNa 591/2006). Tässä artikkelissa käsitellään HevosWoima-hankkeen polton sivutuotteiden lannoitekäyttömahdollisuuksia.



***Kuva 1.** HevosWoima-hankkeessa tuotettiin tietoa hevosenlannan energiahyödyntämisen mahdollisuuksista Etelä-Savossa (kuva Manu Eloaho 2016).*

## TUTKIMUSTULOKSET KUTTERIKUIVIKEPOHJAISEN HEVOSENLANNAN JA JYRSINTURPEEN SEOSPOLTON TUHKISTA

Hevosenselannan ja jyrslnturpeen seoksen koepolttotoiminta toteutettiin Juvalla 2016 leijupetekniikalla toimivassa kattilassa. Koetoiminnassa poltettiin kutterikuivikepohjaista hevosenselantaa 10 , 15 ja 20 prosenttin tilavuusmittoihin perustuvilla seososuuksilla, ja koetoiminnassa otettiin SFS-EN 14778 -standardin mukaisia nlyytteitää päänasiallisesti kokoomanlytteinää. Hevosenselannan koepolton tuhkien nlytteistää lentotuhkan ja leijupetikattilan pohjatuhkan osalta hevosenselannan seososuudesta 20 % on olemassa analyysitulokset, joilla seospolton lannoitearvoa pystytään tarkastelemaan. Nlytteet analysoitiin ALS Finland Oy:n akkreditoitussa laboratoriossa (ALS Finland 2016).

*Taulukko 1. Tuhkien ominaisuudet 20-prosenttisen hevosenselannan ja jyrslnturpeen seospoltoista leijupetikattilassa (ALS Finland Oy 2016).*

Analysoitu pitoisuus (mg/kg kuiva-ainetta)	Kalium (K) mg/kg	Fosfori (P) mg/kg
Analyysitulokset lentotuhkasta, kun polttoaineena 20 % kutterikuivikepohjaista hevosenselantaa ja 80 % jyrslnturvetta	9 730	7 460
Analyysitulokset pohjatuhkasta (petituhka), kun polttoaineena 20 % kutterikuivikepohjaista hevosenselantaa ja 80 % jyrslnturvetta	1 170	2 110

Taulukossa 1 esitettyjen tulosten perusteella hevosenselannan ja jyrslnturpeen seoksen poltoista syntyneiden tuhkien kaliumin (K) ja fosforin (P) eläinperäisille tuhkille lannoitekäytössä asetettu viiden prosentin tyyppinimikohtainen vähimmäismäärä täyttyy lentotuhkan osalta, mutta ei pohjatuhkan osalta. (Evara 2017)

Taulukossa 2 on esitetty tuhkien hyötykäytölle asettuja raja-arvoja maanrakentamisen (VNa 591/2006) sekä Evaran asettamien enimmäispitoisuuksien osalta metsätuhka- ja muussa käytössä (Evara 2017). Koetoiminnassa syntynyt pohjatuhka ja lentotuhka jäivät molemmat analyysitulostensa perusteella taulukossa 4 esitettyjen raja- ja enimmäispitoisuusrajojen alle. Näin ollen hevosenselannan polttokokeissa syntyneiden tuhkien hyötykäytölle ei olisi tältä osin esteitä (Tanskanen toim. 2017, 91).

**Taulukko 2.** Tuhkien raskasmetallipitoisuudet 20-prosenttisen hevosenlannan ja jyrshinturpeen seospoltosta leijupetikattilassa (ALS Finland Oy 2016).

Analysoitu raskasmetalli (mg/kg kuiva-ainetta)	Hevosenlannan koepolton lentotuhka (hevosenlannan osuus 20 %)	Hevosenlannan koepolton pohjatuhka (petituhka) (hevosenlannan osuus 20 %)	Maan-rakentamiselle asetetut raja-arvot VNa 591/2006	Haitallisten metallien enimmäispitoisuudet muu käyttö* Evira 2017	Haitallisten metallien enimmäispitoisuudet metsätuhkassa Evira 2017
Arseeni (As)	9,6	2,0	50	25	40
Barium (Ba)	443	135	3 000	-	-
Kadmium (Cd)	1,0	<0,4	15	2,5	25
Kromi (Cr)	46,8	12,7	400	300	300
Kupari (Cu)	183	21,6	400	600	700
Elohopea (Hg)	<0,2	<0,2		1,0	1,0
Lyijy (Pb)	12,9	<1,0	300	100	150
Molybdeeni (Mo)	8,7	1,6	50		
Nikkeli (Ni)	42,0	10,8		100	150
Vanadiini (V)	102	30,9	400	-	-
Sinkki (Zn)	103	54,6	2 000	1 500	4 500

## TUTKIMUSTULOKSET PELLETOIDYN HEVOSENLANNAN JA PUUPELLETIN SEOSPOLTOSTA

Pienen mittakaavan polttokokeissa poltettiin pelletöitynä kahta erilaista kuivikepohjaista hevosenlantaa seoksena (5–10 %) perinteisen valkoisen, Vapo Oy:n valmistaman puupelletin kanssa massaan perustuvina seoksina. Pelletöidyt hevosenlannat olivat kutterikuivikepohjaisesta ja turvekuivikepohjaisesta hevosenlannasta valmistettuja. Polttoprosessi toteutettiin Ariterm Biomatic+ 20 -pellettikattilassa, ja polttoprosessissa syntyneitä tuhkia analysoitiin röntgenfluoresenssianalyysiin (XRF) perustuvalla mittalaitteistolla Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulun ympäristölaboratoriossa (Tanskanen toim. 2017, 69–84).

Pellettipienpolttokokeiden tuhkien analysointiin käytetty XRF-analysointimenetelmä määrittää näyttemateriaalin alkuainekoostumuksen, mutta sen mittaustarkkuutta erityisesti pienissä näyte-erissä voidaan pitää enemmän suuntaa antavana tietona. HevosWoima-hankkeessa mittausmenetelmää käytettiin pienpolttokokeiden tuhkien analysoinnissa antamaan lisätietoa polttoprosessista ja tuhkan käyttäytymisestä. (Tanskanen toim. 2017, 80–81)

Pienpellettiseospolttokokeiden (hevosenlannan osuus 5–10 %) tuhkien analyysitulokset vaihtelivat kaliumin (K) osalta 4,7–5,6 %, kun kuivikkeena oli käytetty kutteria tai turvetta. Kokonaisfosforin osuus puolestaan oli 0,12–0,19 %. Pelkän puupelletin tuhkan vertailuarvot olivat kaliumin osalta 5,7 % ja fosforin 0,06 %.

Tulosten tulkinnassa tulee huomioida käytetyn mittausten menetelmän epävarmuudet sekä pienpolttokokeiden alkuperäinen tavoite. Alun perin pellettipienpolttokokeiden tarkoituksena ei ollut tuottaa tarkkaa tietoa niinkään polttoprosessin tuhkien laatuun vaan muodostuviin savukaasuihin liittyen.

Pellettipolttokokeiden tuhkien XRF-analyysitulokset osoittavat kuitenkin, että hevosenlantapellettien ja valkoisten pellettien seospolton tuhkat saattaisivat täyttää eläinperäisille tuhkiille lannoitekäytössä asetetun viiden prosentin tyyppinimikohtaisen vähimmäismäärän kaliumin (K) ja fosforin (P) yhteispitoisuudessa (Evira 2017). Tarkempien raja-arvojen sekä tyyppimääritysten tarkastelua varten pienpolttokokeiden kokeet tulisi uusia HevosWoima-hankkeen suositusten mukaisesti liikkuva-arinaisessa pellettipolttimessa, jolloin sekä savukaasujen että tuhkien analysointi voitaisiin tutkia tarkemmin. Tuhkatulosten pienpolttokokeissa perinteinen pellettikattilatekniikka ei osoittautunut toimivaksi hevosenlantapellettien ja puupellettien seospolton, sillä polttoprosessista syntyvät tuhkat lähtivät kuonaantumaa polttoprosessin aikana verrattain nopeasti (Tanskanen toim. 2017, 82–83).

## **BIOENERGIAN SIVUTUOTTEIDEN KÄYTTÖ- MAHDOLLISUUDET TULEVAISUUDESSA**

Kiertotaloudessa tulevaisuuden bioenergianlähteiden hyödyntämisen sivutuotteina syntyvien tuhkien hyödyntämismahdollisuudet lannoitteina ja muissa käyttötarkoituksissa ovat mahdollisuuksia, joita tulisi tarkastella yhdessä bioenergianlähteiden hyödyntämismahdollisuuksien kanssa. Tässä artikkelissa esitetyt tutkimustulokset tuotettiin osana HevosWoima-hanketta, jonka tarkoituksena oli edistää hevosenlannan energiahyödyntämisen mahdollisuuksia Etelä-Savossa. Tarkasteluissa saadut tulokset antavat lisätietoa polttoprosesseissa syntyvien tuhkien laadusta sekä niiden hyötykäytön mahdollisuuksista. Tutkimustuloksissa avoimiksi jääneitä seikkoja ja tietoja toivotaan voitavan tarkastella uudelleen täydentävästi tulevaisuudessa.

HevosWoima-hankkeen (1.3.2016–28.2.2017) päätoteuttajana toimi Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu ja osatoteuttajana Lappeenrannan teknillinen yliopisto. HevosWoima-hanketta rahoittivat Etelä-Savon ELY-keskus Euroopan aluekehitysrahastosta, Suur-Savon Energiasäätiö sr sekä Vapo Oy.

## LÄHTEET

ALS Finland 2016. HevosWoima-hankkeessa teetetyt näyteanalyysit.

Evira 2017. Tuhkan käyttö lannoitteena. Päivitetty 23.8.2016. <https://www.evira.fi/kasvit/viljely-ja-tuotanto/lannoitevalmisteet/kierratysravinteet/tuhkan-kaytto-lannoitteena/> [viitattu 21.11.2017].

Tanskanen, R. toim. 2017. Esiselvitys Etelä-Savon hevostalouden materiaalivirtojen hyödyntämisestä uusiutuvana energiana. Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu. Xamk kehittää 2. ISBN 978-952-344-005-0.

Valtioneuvoston asetus eräiden jätteiden hyödyntämisestä 591/2006. Liite 1.

# JÄTEVEDENPUHDISTAMON BSM-SIMULOINTISTANDARDIT JA NIIDEN HYÖDYNTÄMINEN

Hannu Poutiainen

Jätevedenpuhdistus on dynaaminen prosessi, jonka säätöön vaikuttavat muun muassa ulkolämpötila ja sisään tulevan jäteveden määrä ja ominaisuudet. Nykypäivänä voidaan puhdistamon säätöä tutkia tätä varten rakennettujen mallien avulla. BSM-standardien (benchmark simulation model) kehitys alkoi, kun alkuvaiheessa oli olemassa useita kilpailevia mallinnusaloja, joilla saatiin toisistaan poikkeavia tuloksia, ja haluttiin varmistaa, että kaikki mallinnusalustat antoivat samat tulokset samaa tiedeyhteisön kehittämää ASM-mallia käytettäessä. Näinä tuloksina tarkasteltiin prosessin reagoimista siihen syötettyihin häiriötekijöihin (paljon/vähän vettä pidemmällä ajanjaksolla tai hetkellinen suuri vesimäärä). Sittemmin alun perin vuonna 2002 luotua BSM1-standardia (Copp 2002) on kehitetty edelleen ja siitä on luotu uusia versioita, joita voidaan paremmin hyödyntää jätevedenpuhdistuksen optimoinnin tarpeisiin. Käymme tässä lyhyesti läpi näitä eri versioita.

Artikkeli liittyy Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulun Metsä, ympäristö ja energia -painealan hallinnoimaan Smart Effluents -hankkeeseen (Uuden sukupolven vedenkäsittelyn ratkaisut vastaamaan vuoden 2050 vaatimuksia). Smart Effluents -projektin tavoitteena on kehittää uusi kokonaisvaltainen jätevedenkäsittelyn puhdistusjärjestelmä tulevan sukupolven tarpeisiin. Smart Effluents -hankekokonaisuuden yritysryhmän muodostavat BioGTS Oy, Metsäsairila Oy, Mikkelin vesilaitos, Mipro Oy ja Aquazone Oy. Julkisen tutkimushankkeen osiota toteuttavat Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu Oy ja Lappeenrannan teknillisen yliopiston Vihreän kemian laboratorio. Hanke saa rahoitusta Tekesin ohjelmasta Green Growth – Tie kestävään talouteen 2011–2015.

## **BENCHMARK-SIMULOINTIMALLI 1**

Alkuperäistä BSM1-simulointistandardia on käytetty laajalti ympäri maailman puhdistamojen erilaisten säätöratkaisujen testaukseen. Tästä työstä on julkaistu yli 300 artikkelia vuosien saatossa. Standardin malli on sisällytetty useisiin kaupallisiin simulointiohjelmistoihin, kuten Xamkissa käytettävään WEST©-ohjelmistoon. Standardia on myös kehitetty alkuperäisestä viiden ilmastusaltaan ja ei-reaktiivisen laskeutusaltaan yhdistelmästä muunlaisille puhdistamoratkaisuille. Lisäksi on luotu malleja pidemmälle simulointiajalle (BSM1\_LT), erilaisille matemaattisille oletuksille mallissa sekä sisältämään uusia käsitte-



lyteknologioita. Näihin sisältyy myös Mikkelin uudella puhdistamolla käyttöön otettava membraanibioreaktoriteknologia. Edelleen malleihin on sisällytetty kasvihuonekaasujen emission sekä mikropollutanttien seurantaa.

Vaikka BSM1 ja BSM1\_LT ovat hyödyllisiä, ne eivät kuvaa ja niiden avulla ei ole mahdollista tehdä systeemin kokonaisoptimointia, jossa huomioitaisiin muun muassa lietekierrat, mädätysprosessi, mahdollinen rejektiveden palautus Anammox-prosessista jne. Tähän tarkoitukseen, puhdistamon kokonaisoptimointiin, kehitettiin BSM2.

## **BENCHMARK-SIMULOINTIMALLI 2**

BSM2 sisältää influenttidatan vuoden pituiselta jaksolta, jossa on näin mukana päivittäisen ja viikoittaisen kuorman vaihtelun lisäksi vuodenaikaisvaihtelu ja lomajaksojen huomioiminen. Mallissa on noin 60 eri säädettävää parametria, joiden vaikutusta puhdistustulokseen voi siis tutkia, ja malliin voi myös sisällyttää kaikki käytännössäkin mahdolliset sensorit ja säädöt. Mallissa on myös mukana lisähiililähteen syöttö.

Nykypäivänä mädätys on entistä useammin osa jätevedenpuhdistamon prosesseja, ja siksi on ollut tarpeen sisällyttää mädätysprosessi BSM2:een. Mallissa on käytössä ADM1 (Nopens ym. 2009), joka on suosituin tällä hetkellä käytössä olevista mädätystä kuvaavista malleista.

BSM2 toimii hyvin tyypeä poistavissa laitoksissa, mutta ei sovellu biologisen tai kemiallisen fosforinpoiston säädön tutkimiseen. Fosforinpoistoa pyritään tällä hetkellä parantamaan prosessinoptimoinnissa maailmanlaajuisesti, mutta Suomessa tähän on toki jo ennemmin kiinnitetty huomiota järvien rehevöitymisen minimiravinteena, siksi BSM2:sta pyritään nyt tekemään uusi BSM2-P-malli, jossa fosforinpoisto olisi huomioitu.

## **BENCHMARK-SIMULOINTIMALLI 2 FOSFORINPOISTOLLA**

Fosforinpoiston huomioivassa simulointistandardissa on käytettävä ASM2d-mallia. Tämä simulointistandardi on vasta ehdotusasteella. Standardissa on muutettu hieman alkuperäistä ASM2d-mallia, esimerkiksi kiintoaine on sisällytetty parametriksi malliin. BSM2-P:ssä on arvioitu, että laskeutusaltaissa tapahtuu fosforia akkumuloivien organismien (PAO) kasvua, ja mallin laskeutusaltaat on muutettu reaktiivisiksi (altaissa tapahtuu denitrifikaatiota).

Mallin käyttötapana on sama kuin aiemminkin eli mallilla arvioidaan eri säätötapojen vaikutusta pitkällä aikavälillä (364 päivää). Arviointikriteereihin sisältyvää effluentin laatuindeksiä (effluent quality index) on kuitenkin muokattava sisältämään myös orgaaninen ja epäorgaaninen fosfori. Myös hetkelliset päästörajoiden ylitykset -indeksiin on lisättävä fosfori. Saostuksessa käytettävien metallisuolojen hinta on huomioitava kustannusindeksissä, ja riski-indeksiin on lisättävä parametri, joka kuvaa PAO:ien vaikutusta lietteen paisumiseen.

Simulointistandardiversio, jossa fosforin reaktiot on huomioitu, antaa myös Suomessa paremmat mahdollisuudet standardin käytännön hyödyntämiseen, koska meillä normaali jätevedenpuhdistusprosessi sisältää fosforin kemiallisen saostamisen. On myös havaittu, että biologista fosforinpoistoa voi tapahtua pienessä mittakaavassa myös perinteisessä puhdistamossa, ja mahdollisuus käyttää tutkimuksissa BSM2-P-mallia on etu.

## **LÄHTEET**

Copp, J.B. (toim.) (2002) The COST Simulation Benchmark – Description and Simulator Manual. ISBN 92-894-1658-0, EU:n virallinen julkaisu, Luxemburg.

Nopens I., Batstone D.J., Copp J.B., Jeppsson U., Volcke E., Alex J. ja Vanrolleghem P.A. (2009). An ASM/ADM model interface for dynamic plant-wide simulation. *Water Res.* 43(7), 1913–23.

# SAHATAVARAN LÄMPÖKÄSITTELY KORKEASSA HÖYRYNPAINEESSA

Olli Paajanen & Juho Peura

Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulun ja Aalto-yliopiston ja Lämpöpuuyhdistys ry:n yhteistyönä toteutettiin 1.10.2015–30.6.2017 Lämpöpuun ominaisuuksien ja valmistusprosessin kehittäminen –hanke, jossa tutkittiin uudenlaista lämpökäsittelyn puun valmistusmenetelmää. Hankkeessa tutkittiin korkeassa höyrynpaineessa tapahtuvaa lämpökäsittelyä. Hanketta rahoittivat Etelä-Savon maakuntaliitto Euroopan Unionin Aluekehitysrahastosta ja hanketoimijat. Tässä julkaisussa esitellään lämpöpuuhankkeen toteutusta ja tutkimustuloksia.

## PUUN LÄMPÖMODIFIOINTI

Puun modifioinnilla tarkoitetaan prosesseja, joilla voidaan vaikuttaa puusolukon kemiaan tai rakenteeseen. Puussa tapahtuvat muutokset puolestaan vaikuttavat siitä valmistettävien tuotteiden ominaisuuksiin. Puun lämpömodifiointi on yksi laajimmista ja pisimpään käytössä olleista modifiointimenetelmistä. Tiivistettynä lämpökäsittelyn positiivisia vaikutuksia ovat muun muassa pienempi hygroskooppisuus ja parantunut dimensiopysyvyys sekä parempi biologinen kestävyys. Toisaalta perinteisesti lämpökäsittelyn seurauksena puun mekaaninen lujuus laskee ja siitä tulee hauraampaa; erityisesti oksien vaikutus korostuu lujuuden näkökulmasta. Prosessin toteutuksen ja prosessimuuttujien vaikutus lämpömodifiointiprosessiin on suuri. Vaikuttavia tekijöitä ovat muun muassa se, onko prosessi suljettu vai avoin, käsitteilyatmosfääri, prosessin lämpötila, pituus, kosteus, mahdolliset suojakaasut ja katalyytit sekä luonnollisesti käsiteltävien kappaleiden dimensiot sekä puulaji (Hill 2006, 100).

Hankkeessa tutkittiin uudenlaista korkeassa höyrynpaineessa tehtävää valmistusprosessia ja erityisesti sen vaikutusta puun mekaanisiin ominaisuuksiin. Nykyinen käytössä oleva lämpökäsittelyprosessi, Thermowood®-menetelmä, on VTT:n kehittämä ja laajasti käytössä suomalaisessa teollisuudessa ja myös kansainvälisesti. Menetelmässä puu lämpökäsitellään noin 160–220 °C:n lämpötilassa. Prosessi on avoin. Prosessin alussa materiaali kuivataan alhaiseen kosteuteen, sitten lämpötila nostetaan varsinaiseen käsitteilylämpötilaan, ja lopuksi puun kosteus jälleen tasataan uudelleenkestutuksella. Prosessit kuluttavat suhteellisen paljon energiaa ja ovat kestoltaan melko pitkiä. Erilaisia lämpökäsittelymenetelmiä on useita, muun muassa rectification-prosessi (Ranska) ja Plato-prosessi (Alankomaat), ja lämpömodifiointia tutkitaan lukuisissa maissa ja tutkimuslaitoksissa. Hankkeen näkökulmasta mielenkiintoisia menetelmiä ovat korkeassa höyrynpaineessa tehtävät prosessit WTT Thermo (Tanska) ja Firmolin (Alankomaat).

## KOEAJOJEN TOTEUTUS

Tutkimushankkeessa keskityttiin tutkimaan korkeassa höyrynpaineessa tapahtuvaa lämpökäsittelyä. Aalto-yliopisto teki kokeita laboratoriomittakaavassa, ja Xamkin Puupolin modifointilaitteistolla tehtiin tuotemittakaavan koeajoja. Aallon kokeissa tutkittiin muun muassa raaka-aineen kosteuden, prosessin kosteuden ja lämpötilan sekä kuivausvaiheen vaikutusta puun ominaisuuksiin. Aallon tulosten perusteella valittiin sopivat parametrit Xamkin kokeisiin, joissa tärkeimmäksi muuttujaksi valittiin lopulta prosessilämpötila. Koeajoja tehtiin eri lämpötiloissa (140–180°C) ja eri höyrynpaineissa sekä normaali-ilmanpaineessa.

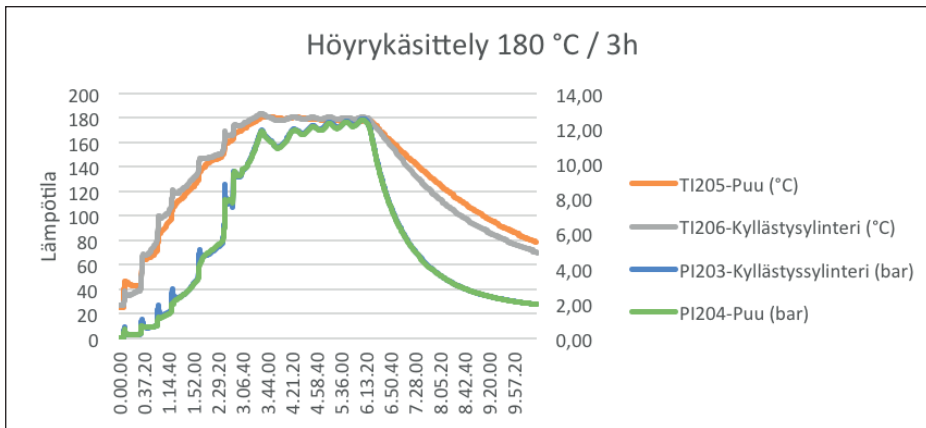
Tutkittavassa prosessissa puumateriaali käsitellään paineastiassa ja korkeassa höyrynpaineessa. Korkean höyrynpaineen ja puun hygroskooppisuuden takia puumateriaalin kosteus on korkea prosessin jälkeen. Puu voidaan prosessin jälkeen tasaannuttaa hallitusti eli ilma-kuivata, tai vaihtoehtoisesti se voidaan kuivata keinokuivausprosessilla esimerkiksi Xamkin Puupolin kamarikuivaamossa.

Laitteistossa on kaksi lämmitettävää painesäiliötä, jotka ovat yhteydessä toisiinsa putkiston välityksellä. Varastointi- tai lämmityssäiliössä voidaan säilyttää ja kuumentaa erilaisia käsittelyaineita tai vaihtoehtoisesti prosessissa käytettävää höyryä. Käsittelysylinderissä puolestaan tehdään varsinainen käsittelyprosessi. Käsittelysylinderi voidaan lämmittää höyryn tai öljykierron avulla. Laitteiston korkein käyttölämpötila on 200°C ja paine 15,5 bar, joka vastaa kylläisen höyryn painetta. Laitteisto on varustettu mittalaitteilla, joiden avulla voidaan seurata prosessia sekä sylindereissä että puussa olevien antureiden välityksellä. Laitteistossa on myös alipainepumppu ja jäähdytysjärjestelmä. Sitä ohjataan Siemensin WinCC-pohjaisella automaatiojärjestelmällä. Kuvassa 1 on käsittelysylinderi ja käsiteltävä puukuorma. Puukappaleisiin on asennettu sisäpaine- ja lämpötila-anturit.



*Kuva 1. Koekappaleet käsittelysylinderissä ennen prosessin käynnistämistä (kuva Juho Peura).*

Kuvassa 2 on antureiden mittaamien tietojen avulla esitetty korkeassa höyrynpaineessa ja 180°C:n lämpötilassa tehty koeajo. Prosessi on suljettu. Koska korkeassa paineessa höyry sisältää erittäin paljon lämpöenergiaa, lämpötila prosessin aikana kohoaa nopeasti.

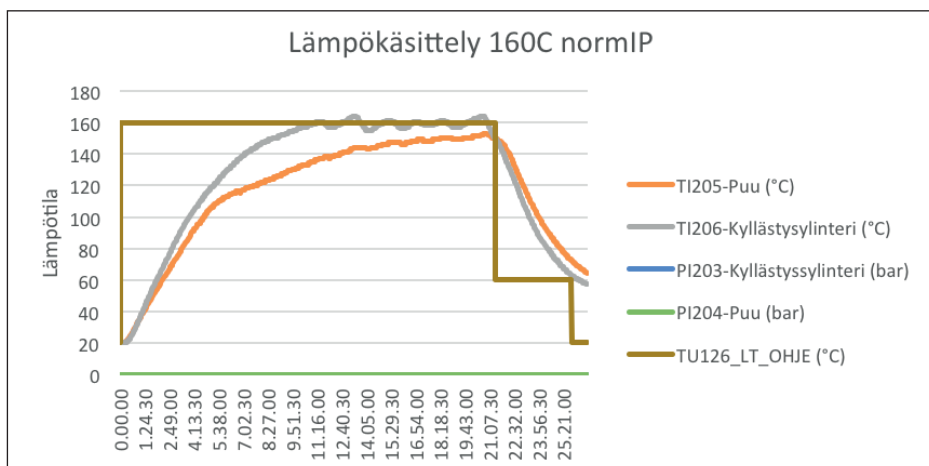


**Kuva 2.** Höyrylämpökäsittelyprosessi 180°C:n lämpötilassa, suljettu prosessi.

Kuvaajan alussa on lämmitysvaihe, jolloin lämpötila ja paine kohoavat portaittain. Alussa lämpötila on noin 22°C, mutta lämpötila kohoaa sekä sylinterissä että pienellä viiveellä puussa aina 180°C:seen asti, kun höyryä päästetään hallitusti sylinteriin. Varsinainen lämpökäsittelyvaihe alkaa, kun tavoitelämpötila on saavutettu. Lämpötila nostetaan kuitenkin hallitusti, jotta puun sisäpaine pysyy hallinnassa ja materiaali ei kärsi. Höyry lämmittää sylinterin ja puumateriaalin, mutta samalla tiivistyy vettä, jonka määrää sylinterissä pitää hallita.

Vertailun vuoksi seuraavassa kuvassa on 160 asteen lämpötilassa tehty koeajo, jossa lämmönsiirto tapahtuu pelkästään sylinterin seinissä kiertävän lämmitysöljyn välityksellä. Koska lämmönsiirto puuhun tapahtuu sylinterin seinien kautta pääosin säteilemällä ja konvektiolla, lämmitysvaihe on hidas ja pitkä. Kuvaajassa on mittausarvojen lisäksi näkyvissä prosessiohjaukseen asetettu tavoitelämpötila. Prosessi on avoin, joten paine ei pääse kohoamaan, ja tämän seurauksena sylinterin kosteus on matala.

Prosessilaitteistolla voidaan toteuttaa hyvin erilaisia käsittelyprosesseja, joiden vaikutukset puumateriaaliin poikkeavat toisistaan suuresti. Puumateriaalin kosteus ja lämpötila vaikuttavat prosessin kosteuden ja lämpötilan lisäksi merkittävästi lopputulokseen. Hankkeessa havaittiin, että prosesseja voidaan toteuttaa erilaisilla prosessiparametrien yhdistelmillä. Puussa tapahtuvat kemialliset muutokset riippuvat myös puumateriaaliin siirretyn energian määrästä – prosessin kokonaistoteutuksella on siten suuri vaikutus lopputulokseen.



**Kuva 3.** Lämpökäsittelyprosessi 160°C:n lämpötilassa ja ilmanpaineessa, avoin prosessi.

## LÄMPÖMODIFIOINTIPROESSIN VAIKUTUS PUUN VÄRIIN

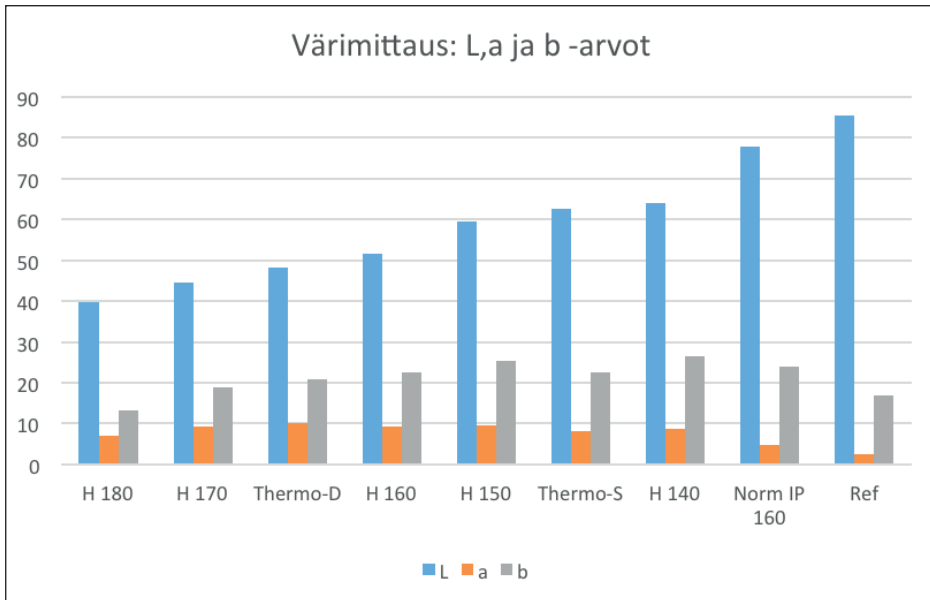
Koeajoja tehtiin erilaisilla parametreilla ja todettiin, että prosessien erot vaikuttavat lopputuotteen ominaisuuksiin merkittävästi. Eräs käytetyistä tutkimusmenetelmistä oli värimittaus. Värimittaus tehdään CIELAB-koordinaatistoa käyttävällä mittarilla.

Thermowood-prosessin laadunvalvonnassa värimittaus on yksi mittauskriteeri. Väri vaikuttaa tuotteiden ulkonäköön, mutta koska värimuutokset poikkeavat toisistaan eri lämpökäsittelylämpötiloissa, se myös osaltaan kertoo prosessin toteutuksesta. Seuraavassa kuvassa on erilaisin lämpökäsittelyprosessein valmistettuja koekappaleita. Kappaleiden järjestys on vasemmalta lukien: 180°C ja 170°C korkeassa höyrynpaineessa; Thermo-D 212°C; 160, 150 ja 140°C korkea höyrynpaine; Thermo-S 190°C; 160°C lämpökäsittely ilmanpaineessa; sekä viimeisenä käsittelemätön referenssi.

Kuvassa 5 on mitattuja väriarvoja kuusinäytteistä, jotka on käsitelty vastaavilla prosesseilla. Mittauksessa L-värikoordinaatti kertoo näytteen vaaleuden (musta=0), a-koordinaatti arvon punaisesta vihreään ja b-arvo keltaisesta siniseen. Vertailun vuoksi kuvassa on mittausarvoja myös perinteisellä lämpökäsittelyprosessilla valmistetuista kappaleista. Niiden osalta laadunvalvonnassa käytetyt sallitut L-arvot ovat Thermo-D:n osalta 45–55 ja Thermo-S:n osalta 58–68. Nämä prosessit tehdään 212 ja 190°C:n lämpötiloissa, ja tuotteiden värin lisäksi niiden ominaisuudet, kuten kestävyys, eroavat toisistaan.



*Kuva 4. Eri prosesseilla lämpömodifioituja koekappaleita (kuva Juho Peura).*



*Kuva 5. Värimittausarvoja kuusinäytteistä, CIELAB-värikoordinaatisto.*

Eri prosesseilla valmistettujen kappaleiden mittausarvot eroavat toisistaan. Tulosten perusteella nähdään, että prosessi vaikuttaa lopputuotteen väriin merkittävästi. Värimuutosten perusteella ei kuitenkaan voida ennustaa tai arvioida kappaleen muita ominaisuuksia. Läm-

pöpuuprosessi on monimutkainen kokonaisuus, jonka lisäksi muun muassa raaka-aineen kosteus ja tuotteen kuivaus lämpökäsittelyn jälkeen vaikuttavat tärkeisiin tuoteominaisuuksiin. Tämä vahvistettiin myös tässä tutkimushankkeessa. Värimittausten osalta tulee huomioida, että se on vain yksi mitattava suure, joskin tärkeä muun muassa tuotteiden visuaalisen ilmeen näkökulmasta. Eri puulajien ominaisuudet ja käyttäytyminen poikkeavat toisistaan myös lämpömodifiointiprosesseissa. Kuvassa 6 on muutamia koekappaleita, joissa materiaaleina on radiata-mänty ja koivu. Ne on käsitelty 170 (radiata) ja 160 celsiusasteen (koivu) lämpötiloissa korkeassa höyrynpaineessa. Verrattuina vieressä oleviin käsittelemättömiin referensseihin niiden ulkonäkö poikkeaa toisistaan merkittävästi.



***Kuva 6.** Höyrylämpökäsitelty radiata-mänty, koivu sekä vastaavat käsittelemättömät referenssit (kuva Juho Peura).*

## **YHTEENVETO**

Hankkeessa selvitettiin prosessien toteutusta sekä laboratoriokekein että tuotemittakaavan koeajoin. Tuotetut materiaalit testattiin eri menetelmin. Edellä esiteltyjen tulosten perusteella korkeassa höyrynpaineessa tapahtuva lämpökäsittelyprosessi poikkeaa perinteisestä lämpökäsittelystä merkittävästi; tämä nähdään jo koekappaleiden väristä. Prosessin kehittäminen teolliseksi tuotantoprosessiksi vaatii jatkotutkimusta tuoteominaisuuksien ja tuotantoprosessin optimoimiseksi. Hanke päättyi kesäkuun lopussa, mutta lämpömodifiointiprosessin kehittämiseen liittyvä tutkimus jatkuu Xamkissa.



## LÄHTEET

Hill, C.A.S. 2006. Wood Modification – Chemical, Thermal and Other Processes. Wiley Series in Renewable Resources. John Wiley & Sons Ltd. Chichester, West Sussex. ISBN 0-470-02172-1

Lämpöpuuyhdistys 2004. ThermoWood®-käsikirja. Lämpöpuuyhdistys ry. [https://asiakas.kotisivukone.com/files/thermowood.kotisivukone.com/tiedostot/914711200401161255\\_tw-kasikirja.pdf](https://asiakas.kotisivukone.com/files/thermowood.kotisivukone.com/tiedostot/914711200401161255_tw-kasikirja.pdf) Päivitetty 13.01.2004 Ladattu 7.11.2017.

# KESTÄVÄ PUUJULKISIVU HIILTÄMÄLLÄ – PINTAMOD

Hannu Turunen

Kestävä puujulkisivu hiiltämällä -hankkeella pyritään lisäämään puun käyttöä rakentamisessa. Käytön lisäämiseen pyritään tutkimalla ja optimoimalla puu-ulkooverhous tuotteiden ominaisuuksia sekä kehittämällä teollista valmistusmenetelmää tuotteiden pinnan hiiltämiseen eli pintamodifiointiin.

Julkisivumateriaalit ikääntyvät pääasiassa auringonvalon UV-säteilyn sekä ulkoilman säärasituksen vaikutuksesta. Ikääntymisestä johtuvat ongelmat aiheuttavat toistuvia huoltokustannuksia, esteettistä haittaa sekä jopa ongelmia ulkooverhouksen toiminnassa. Pintamodifioinnilla pyritään vähentämään tuotteiden valmistukseen ja käsittelyyn käytettävien resurssien tarvetta sekä uudelleen käsittelyistä aiheutuvia huoltokustannuksia.

## JOHDANTO

Rakentaminen on teollisuuden aloista yksi suurimmista raaka-aineiden kuluttajista Euroopassa, ja nykyisin valtaosa rakentamisesta käytetyistä raaka-aineista on uusiutumattomia. Suuren raaka-ainekulutuksen lisäksi ala tuottaa noin 50 prosenttia alueella syntyvästä jätteenä. Uusiutumattomien luonnonvarojen käyttöä rakentamisessa tulee vähentää suosimalla uusiutuvia raaka-aineita ja materiaaleja. Puutuotteiden valmistamisen ympäristöhaitat ovat huomattavasti vähäisemmät verrattuna betoniin, tiileen tai teräkseen. (Puuinfo) Uusiutuva ja ympäristöystävällisenä materiaalina puu on tulevaisuudessa entistä kilpailukykyisempi rakennusmateriaali sekä Suomessa että ulkomailla. Muun muassa edellä mainituista syistä puurakentamisen markkinoiden arvioidaan kasvavan muun muassa maailmanlaajuisen ilmasto- ja ympäristökysymysten merkitysten vaikutusten lisääntyessä.

Hiiltäminen on tunnettu mutta vähän käytetty puutuotteiden suojakäsittelymenetelmä. Hiilletty pinta on myös arkkitehtonisesti mielenkiintoinen. Nykyisin hiillettyjä tuotteita valmistetaan esimerkiksi kaasupolttimella ja perinteisellä japanilaisella Shou shugi ban -menetelmällä. Edellä mainitut tavat ovat käsityövaltaisia ja hitaita. Hankkeessa kehitettävän teollisen menetelmän etuina pidetään käytettävien prosessiparametrien seuranta- ja säätömahdollisuuksia sekä käsittelyn nopeutta ja tasalaatuisuutta. Teollisen menetelmän kehittämisen lähtökohtana on selvittää optimaaliset käsittelyparametrit haluttujen suoja-vaikutusten ja esteettisyyden aikaansaamiseksi.

Hanke alkoi tammikuussa 2017 ja päättyy vuoden 2018 lopussa. Hankkeeseen osallistuvat yritykset ovat Kontiotuote Oy, Stora Enso Wood Products Oy Ltd, Tehomet Oy ja Versowood Oy. Hankkeen päätoteuttaja on Kaakkois-Suomen Ammattikorkeakoulu ja osatoteuttajana on Aalto Yliopisto. Xamkissa hankkeen parissa työskentelevät Hannu Turunen ja Tuomas Venäläinen, ja lisäksi Materiaalitekniikan opiskelija Leena Teittinen tekee aiheesta insinöörityötä.

## **MITÄ, MITEN JA MIKSI**

Hankkeen tavoitteena on kehittää helppohoitoinen puu-ulkoverhousmateriaali sekä koelaitteisto kappaleiden pinnan hiiltämiseen. Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että puujulkisivumateriaalia käsitellään toispuolisesti koneellisella menetelmällä niin, että tuotteen pinta saadaan hiillettyä halutulla tavalla. Käsitelymenetelmän kehittämisen lisäksi hankkeessa on tarkoitus tutkia hiilletyn pinnan suojaominaisuuksia, kestävyyttä säärasituksia vastaan sekä selvittää tuotteen teolliseen valmistamiseen sekä käyttöön liittyviä haasteita.

Vuoden 2017 kuluessa Xamkin Mikkelin kampuksen Puu- ja Materiaalitekniikan laboratorioissa on kehitetty koelaitteistoa ulkoverhouspaneelin hiiltämiseen. Hiiltämislaitteen lämpötehoa ja syöttönopeutta voidaan säätää, joten tuotteiden käsittely voidaan tehdä haluttuja parametreja käyttäen. Koelaitteiston valmistamisesta vastasivat Tuomas Venäläinen ja Hannu Turunen. Koelaitteistolla on käsitelty teollisen mittakaavan saha- ja höylätavarakappaleita, joista on valmistettu useamman kokoisia koekappaleita standardien mukaisiin testeihin sekä rakennettu koeseinä ulkoverhousmateriaalin testaamista varten. Koemateriaaleista testataan muun muassa kosteusaltistuksesta johtuvia mittamuutoksia sekä veden ja käsittelyjen tuotteiden keskinäistä käyttäytymistä.

## **ULTRAVIOLETTISÄTEILYN VAIKUTUS ULKOVERHOUSTUOTTEIDEN ULKONÄKÖÖN**

Suojaamattomassa puujulkisivussa ultraviolettisäteilyn (UV), sadeveden ja ilman happamuuden yhteisvaikutus tuhoaa puu-ainesta eli altistunutta kappaleen pintaa noin seitsemän millimetriä vuosisadassa. Puu-aineksen komponentit kestävät UV-raitusta erisuuria määriä: hemiselluloosat ja ligniini kestävät UV-säteilyä selluloosaa heikommin. Tästä johtuen pitkään jatkuneelle ulkoilmarasitukselle altistuneet kappaleet ovat usein varsin epätasaisia pinnaltaan ja väriltään harmaita. (Kärkkäinen) Myös pintakäsittelyaineet, kuten tavalliset maalit, vanhentuvat UV:n vaikutuksesta, ja niiden värit muuttuvat kohti harmaata.

Puukappaleita ei voida suojata UV-säteilyltä tavallisilla maaleilla tai lakoilla, sillä näkyvää valoa suurenergisempi UV-säteily tunkeutuu ohuiden pinnoitekerroksen läpi pohjamateriaaliin eli puuhun asti. UV-säteily ei kuitenkaan tunkeudu kappaleissa juuri pintaa syvemmälle. UV-säteilyn vaikutus yltyä vain noin 75 mikrometrin syvyyteen. (Kärkkäinen)

Standardin EN 927-3 mukaan tehdyn ulkoilmäsäättestin lisäksi UV-rasituksen kesto on tarkoitus testata keinotekoisesti ksenon- tai UV-olosuhdekaapissa. Keinotekoisin rasituksen etuina pidetään nopeutta ja rasituksen parametrien säätömahdollisuutta sekä luonnollisesti testin toistettavuutta. Ksenon-/UV-testeillä tutkitaan siis pinnoitteiden kestävyyttä sekä pinnassa tapahtuvia muutoksia.



***Kuva 1.** Ulkostatistikoekappaleita testikentällä (kuva Hannu Turunen).*

Usein UV-testeihin yhdistetään värinmittaus (Lab-väriavaruudessa), kiiltomittaus sekä pinnankarheuden mittaaminen joko optisesti tai pintaa koskettavalla mittalaitteella. Hankkeen kuluessa koeseinän värimuutoksia tullaan mittaamaan ja tuloksia verrataan UV-/ksenonkaapissa keinotekoiselle säärarasitukselle altistetuista koekappaleista mitatuille arvoille.

Xamkin Puulaboratoriossa syksyllä 2017 rakennetun koeseinän ja kenttäkokeiden avulla on tarkoitus testata pintahiilletyn laudan värinkestävyyttä sekä materiaalin käyttäytymistä ulkoilma-altistuksessa. Kenttäkoekappaleita on esitetty kuvassa 1 ja koeseinä valmistusvaiheessa kuvassa 2. Koeseinän julkisivumateriaaliksi valittiin muun muassa UTV-paneeli, joka höylättiin Puulaboratoriossa täyskanttisesta 25x150 millimetrin kuusisahatavarasta ja pintamodifioitiin koelaitteistolla. Lähes valmis koeseinä on esitetty kuvassa 2. UTV-paneeli valittiin koeseinään, koska tuote on yleisesti käytetty puujulkisivumateriaali erityisesti pientalorakentamisessa. Hankkeessa testattavaa ulkokuorilautaa ei ole tarkoitus erityisesti suojata UV-säteilyltä, vaan kappaleiden luontainen harmaantuminen sallitaan.



*Kuva 2. Koeseinä (kuva Hannu Turunen).*

## PUUMATERIAALIN JA VEDEN VUOROVAIKUTUS

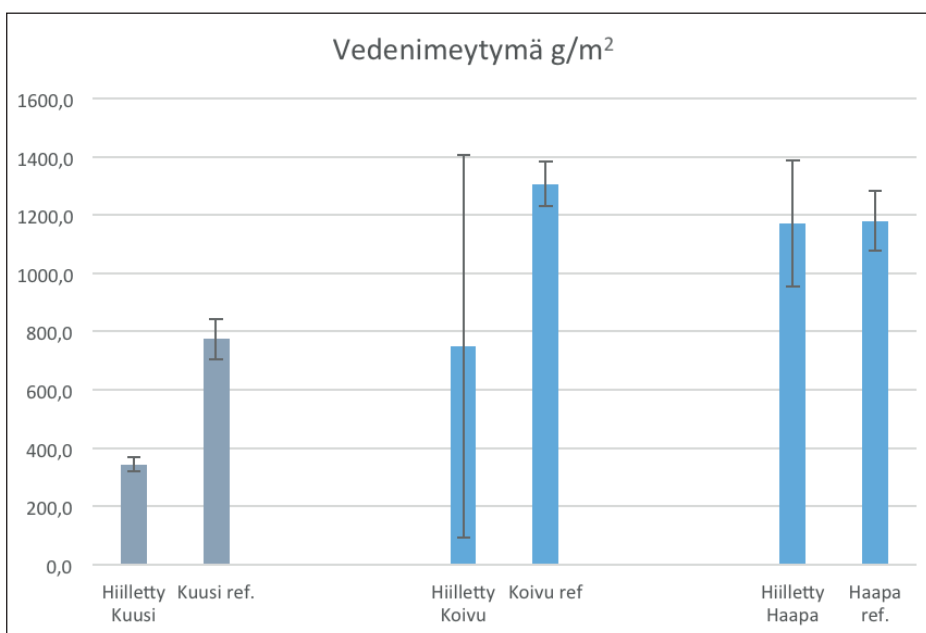
Puumateriaalista valmistetut tuotteet joutuvat lähes poikkeuksetta tekemisiin kosteuden kanssa. Useimmissa tapauksissa kosteus on ilmassa olevaa vesihöyryä, mutta ulkotuotteet altistuvat vesihöyryn lisäksi veden, lumen ja jään vaikutukselle. Puumateriaalin ja kosteuden vuorovaikutuksen ymmärtäminen on tärkeää, sillä monet puumateriaalin fysikaaliset ominaisuudet sekä tuotteiden dimensiot muuttuvat ilmankosteuden vaikutuksesta.

Hygroskooppisena materiaalina puu pyrkii tasapainokosteuteen ilmassa olevan kosteuden kanssa. Tämä tarkoittaa sitä, että ilmankosteudesta riippuen puuainees joko luovuttaa tai vastaanottaa kosteutta. Puuaineksen kosteuden vaihtelut huomataan puukappaleiden mittojen muutoksena. Rakentamisessa muodonmuutokset tuleekin osata ottaa huomioon esimerkiksi lattioissa. (Kärkkäinen) Pintamod-hankkeessa selvitetään pintamodifoinnin vaikutusta puumateriaalin kosteuskäyttäytymiseen testaamalla muun muassa veden imeytymistä, mittaamalla koekappaleiden pinnalle tiputettavien vesipisaroiden ja testipinnan välistä kontaktikulmaa sekä tutkimalla kappaleiden mittapysyvyyttä.

### VEDENIMEYTYMÄTESTI EN 927-5

Kesällä ja syksyllä 2017 pintamodifoiduille koekappaleille tehtiin standardia EN 927-5 soveltava vedenimeytymätesti. Testi on tarkoitettu pinnoitteiden vedenläpäisevyyden testaamiseen. 150x70x20-millisten koekappaleiden testipinta käsitellään testattavalla aineella/ menetelmällä, ja muut pinnat suljetaan vettä hyvin eristävällä pinnoitteella. Koekappaleet esikäsitellään, tasaannutetaan ja altistetaan 72 tunnin vesikosketukselle. Altistuksen jälkeen kappaleet punnitaan, ja painon perusteella lasketaan kappaleisiin imeytyneen veden määrä. (SFS EN 927-5)

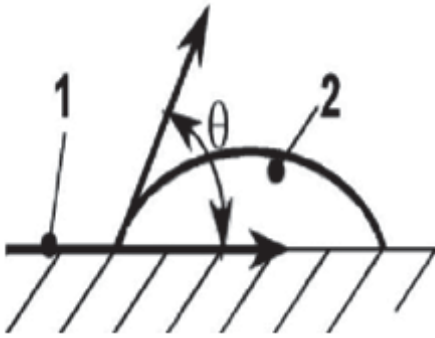
Testitulosten mukaan hiiltämisellä vaikuttanut olevan veden imeytymistä rajoittava vaikutus. Vaikutuksen suuruus riippui puulajista ja käsittelyparametreista. Pintamodifoiduista puukappaleista parhaiten testissä pärjäsivät kuusi. Koivulla tai varsinkaan haavalla hiiltämisen veden imeytymistä vähentävä vaikutus ei ollut yhtä suuri kuin kuusella. Puulajien erilainen käyttäytyminen testissä johtuu mahdollisesti solurakenteiden poikkeavuuksista. Lehtipuiden solukko on havupuiden solukkoa monipuolisempi ja sisältää muun muassa vettä hyvin siirtäviä putkilosoluja. Keskiarvot kappaleiden vedenimeytymien määristä on esitetty kuvassa 3. Koekappaleiden valmistamisesta ja testaamisesta vastasivat Hannu Turunen ja Leena Teittinen.



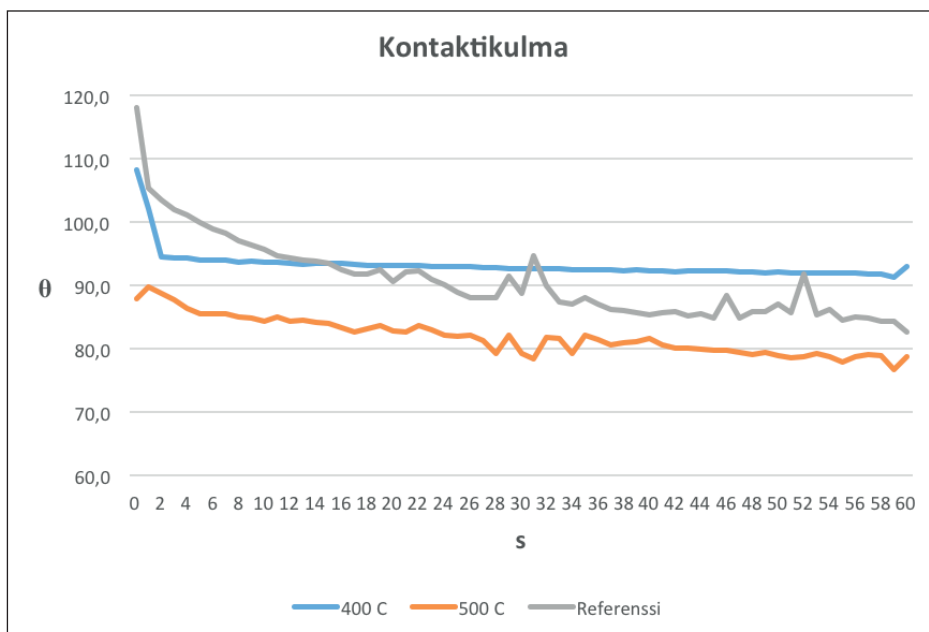
*Kuva 3. Vedenimeytymätestituloksien keskiarvot ja keskihajonnat.*

## KONTAKTIKULMA EN 828:2013

Kontaktikulmatestissä mitataan koekappaleen pinnan ja sille pudotetun pisaran välistä kulmaa. Testi tehdään sitä varten suunnitellulla laitteella, jossa kamera kuvaa koekappaleen pinnalla olevaa pisaraa ja tietokoneohjelma mittaa sekä laskee automaattisesti kuvasta oikean- ja vasemmanpuoleisen kontaktikulman suuruuden. (SFS EN 828:2013) Pintamodifioitujen kappaleiden kontaktikulmatestissä käytettiin puhdistettua vettä. Käytettävä neste valitaan tapauskohtaisesti riippuen testattavan pinnan ominaisuuksista. Testisykli alkaa, kun pisara asetetaan kappaleen testipinnalle. Mittaus kestää esimerkiksi 60 sekuntia, ja pisara kuvataan joka sekunti. Standardin mukaan tehdyssä testissä jokaiselle testattavalle pinnalle tiputetaan kymmenen pisaraa eri kohtiin kappaletta, ja tuloksena ilmoitetaan mittausten keskiarvo. (SFS-EN 828) Mitä suurempana kulma pisaran ja kappaleen pinnan välillä pysyy, sitä paremmin testipinta vastustaa käytettävän nesteen imeytymistä (kuva 4).



**Kuva 4.** Kontaktikulma testipinnan ja nestepisaran välissä.



**Kuva 5.** Kontaktikulmamittausten keskiarvot.

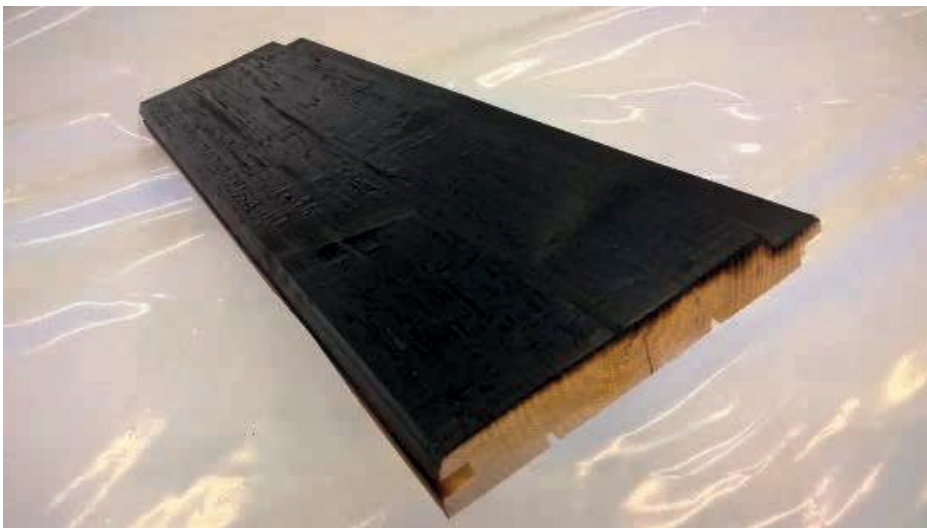
Kontaktikulmakoe kappaleet valmistettiin kevään ja kesän 2017 aikana. Koekappaleiden valmistamisesta, käsittelystä ja testaamisesta vastasi Leena Teittinen. Kontaktikulmatestitulosten mukaan vesipisara imeytyi pintahiillettyihin kappaleisiin aluksi nopeammin kuin käsittelemättömiin referenssikappaleisiin (kuva 5). Nopeampi imeytyminen johtuu todennäköisesti hiillettyjen kappaleiden pinnalla olevista halkeamista. Hiillettyistä kappaleista matalammassa lämpötilassa käsitellyissä (400 °C) kontaktikulma pysyi mittauksen loppupuolella (15 s-) suurempana kuin referenssikappaleissa. Tämä johtui todennäköisesti hiilletyn pinnan hydrofobisista ominaisuuksista sekä vähäisemmästä pintahalkeamien määrästä kuin muissa käsitellyissä kappaleissa.



## MITTAPYSYVYYS EN 1910:2016

Kappaleiden mittapysyvyyttä tutkitaan usein verhoilu-, lattia- ja levytuotteiden kohdalla esimerkiksi standardin EN 1910:2016 mukaan. Standardin mukainen testi tehdään olosuhdehuoneessa tai -kaapissa, jossa saadaan säädettyä ilman suhteellista kosteutta sekä lämpötilaa. Koekappaleista mitataan alussa sekä olosuhdejaksojen päätyttyä massa, dimensiot, kuppiintuminen, lape- ja syrjävääritys sekä kieroutuma. (SFS EN 1910:2016)

Testin tarkoituksena on selvittää, kuinka koekappaleet käyttäytyvät muuttuvissa kosteusolosuhteissa. Kosteuden muutoksista johtuvat suuret mittamuutokset kappaleissa aiheuttavat haasteita tuotteiden käytössä, joten tuotteiden dimensiostabiilisuutta pyritään parantamaan muun muassa modifioimalla raaka-aineen ominaisuuksia ja rakennetta. Esimerkiksi lämpökäsittelyt (Thermowood-käsikirja) puutuotteet ovat dimensiostabiilimpia kuin vastaavat tuotteet ilman lämpökäsittelyä.



*Kuva 6. Mittapysyvyys, EN 1910:2016 -koekappale (kuva Hannu Turunen).*

Hankkeessa selvitetään, kuinka toispuolinen modifiointi vaikuttaa kosteuselämiseen ja onko mahdollisesti esiintyvillä mittamuutoksilla vaikutusta muun muassa ulkoverhouslautojen käyttömahdollisuuksiin vaihtelevissa kosteus- ja lämpötilaolosuhteissa. Standardin mukaista testiä varten valmistettu koekappale on esitetty kuvassa 6. Pintamodifioitujen tuotteiden kosteuselämistä on tarkoitus seurata sekä koeseinän materiaaleissa että standardin EN1910:2016 mukaan tehdyn testin avulla. Mittamuutosten testaaminen aloitetaan marraskuussa 2017.

## YHTEENVETO

Hankkeen aikana tehtävien testien tulosten perusteella on tarkoitus saada kattava käsitys kehitteillä olevan menetelmän toimivuudesta ulkoverhoustuotteiden suojamenetelmänä. Ulkoverhoustuotteet altistuvat elinkaarensa aikana muun muassa vaihteleville kosteus- ja lämpötilaolosuhteille sekä auringonvalon ultraviolettisäteilylle. Rasituksia testataan olemassa olevilla EN- ja ASTM-standardeilla. Testituloksien perusteella menetelmää voidaan kehittää niin, että suojausominaisuudet saadaan mahdollisimman hyviksi.

Pintahiilleyllä tuotteella verhoiltu seinä muuttuu ajan saatossa harmaaksi. Kehittävien tuotteiden onkin tarkoitus toimia mahdollisimman huoltovapaana puujulkisivumateriaalina ja näin ollen vähentää tuotteiden elinkaaren aikana syntyneitä kustannuksia sekä päästöjä.

## LÄHTEET

Kärkkäinen Matti. 2007. Puun Rakenne ja Ominaisuudet. Metsäkustannus Oy. 468 s.

Puurakentaminen ja ekologinen kestävyys. <http://www.puuinfo.fi/node/1505>. Viitattu 23.11.2017.

SFS-EN 927-5. Paints and varnishes. Coating materials and coating systems for exterior wood. Part 5: Assessment of the liquid water permeability. Vahvistettu 2007-05-28. 19 s.

SFS-EN 828 ADHESIVES. WETTABILITY. DETERMINATION BY MEASUREMENT OF CONTACT ANGLE AND SURFACE FREE ENERGY OF SOLID SURFACE. Vahvistettu 2013-05-06. 11 s.

SFS-EN 1910:2016 Wood flooring and wood panelling and cladding. Determination of dimensional stability. Vahvistettu 2016-05-06. 13s.

Lämpöpuu Yhdistys Ry. 2003. Thermowood-käsikirja. 74 s.

# PALOSUOJATTUJEN PUUVIILUJEN OMINAISUUKSIEN TUTKIMINEN

Olli Paajanen

Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulun Mikkelin puulaboratoriossa käynnissä olevassa Viulun modifointi -hankkeessa tutkitaan puuviilun ja siitä valmistettävien tuotteiden palo-ominaisuuksia. Hankkeen tavoitteena on kehittää kemiallinen puuviilun käsitteilymenetelmä, jolla puuviilusta valmistettävien tuotteiden palo-ominaisuuksia saadaan parannettua. Puutuotteita käytetään monipuolisesti muun muassa rakennusteollisuudessa. Useimmissa loppukäyttökohteissa tuotteiden palokäyttäytyminen on siten hyvin tärkeää. Puun palo-ominaisuuksia voidaan muokata erilaisilla pintakäsittelyaineilla tai kyllästeillä. Tutkimushankkeessa testataan useiden lupaavien aineiden soveltuvuutta viilupohjaisten tuotteiden palosuojaukseen. Hanketta rahoittavat Etelä-Savon maakuntaliitto Euroopan aluekehitysrahastosta, hanketoimijat ja osallistuvat yritykset: Stora Enso Wood Products Oy Ltd, Metsä Wood ja UPM-Kymmene Wood Oy.

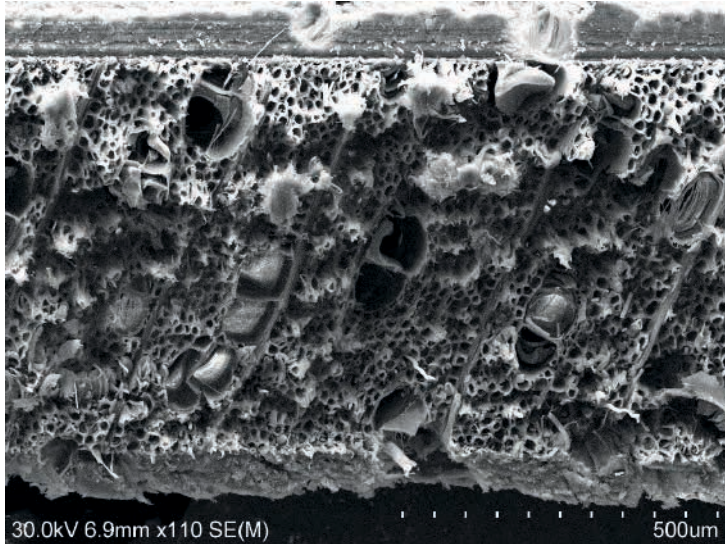
## HANKKEESSA TUTKITAAN KÄSITELTYJEN VIILUN PALO-OMINAISUUKSIA

Viilua käytävä puutuoteteollisuus on erittäin tärkeä osa suomalaista metsäteollisuutta. Etelä-Savon alueella vaneriteollisuuden merkitys on erityisen suuri, koska se on merkittävä työllistäjä sekä metsätaloudessa että tuotteita valmistavassa teollisuudessa. Maakunnan alueella ja sen ympäristössä on suuria vaneriteollisuuden tuotantolaitoksia muun muassa Ristiinassa, Savonlinnassa ja Varkaudessa. Vanerin valmistusprosessin tärkeimmät vaiheet ovat puuviilun valmistaminen sorvaamalla, viiluarkkien kuivaus ja liimaus vaneriksi.

Hankkeessa käsitellään koeviiluja käsittelyaineilla ja tutkitaan niiden toimivuutta erilaisen tutkimusmenetelmien avulla. Käsitellyistä viiluista tutkitaan muun muassa aineiden sijoittumista ja pysyvyyttä, palo-ominaisuuksia ja liimautuvuutta. Tämän jälkeen tutkitaan viiluista valmistettujen vanereiden ominaisuuksia palotestien avulla. Tärkeää on myös selvittää aineiden pysyvyys olosuhdetestien avulla sekä käsittelyjen vaikutus vanerin mekaanisiin ominaisuuksiin. Palosuojakäsittelyn täytyy pysyä puutuotteessa myös muuttuvissa kosteusolosuhteissa, ja toisaalta mekaaniset ominaisuudet eivät saa kärsiä, koska vanerituotteita käytetään rakenteellisissa sovelluksissa. Koska puu on hygroskooppinen materiaali, kosteus vaikuttaa puutuotteiden käyttäytymiseen loppukäyttökohteessa, mutta myös puuteollisuuden prosesseihin ja puututkimuksen toteutukseen käytännössä. Palosuojatun vanerin tapauksessa tämä voidaan nähdä muun muassa siitä, että materiaalina käytettävän viilun kosteudella on vaikutus käsittelyprosessiin (Bekhta et al. 2016).

## MODIFIOINTIKÄSITTELYN TUTKIMINEN SEM/EDS-MENETELMILLÄ

Hankkeessa käytetään pyyhkäiselektronimikroskooppia (SEM) viulunäytteiden tutkimuksessa. Laitteella voidaan muodostaa hyvin tarkkoja kuvia näytteiden pinnasta. Kuvassa 1 on esimerkkinä SEM-kuva koivuviilusta.

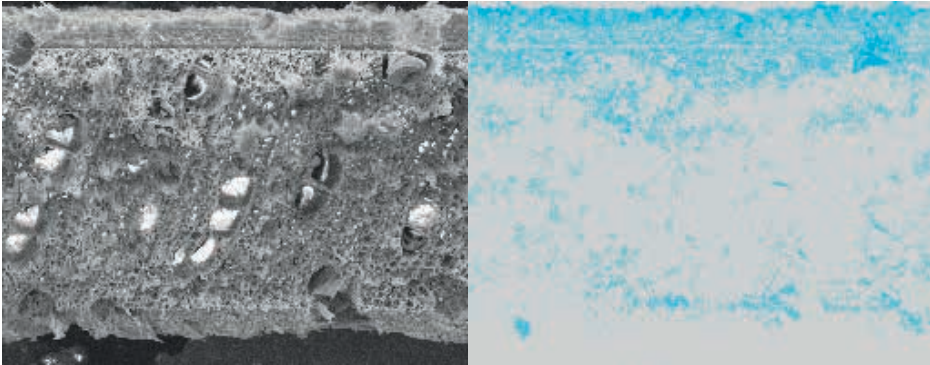


*Kuva 1. Elektronimikroskooppikuva koivuviilusta (kuva Olli Paajanen).*

Kuvassa viulun paksuus pystysuunnassa on noin 0,8 millimetriä. SEM-laitteella on siten mahdollista kuvata puusolukkoa hyvin tarkasti. Xamkissa käytössä oleva SEM-laitte on varustettu EDS-yksiköllä, jolla voidaan tunnistaa alkuaineita. EDS-menetelmä perustuu näytteestä siroaviin elektroneihin ja niistä vapautuviin röntgensäteisiin. Mittausdatasta voidaan tunnistaa atomien eri kuorilta siirtyvät elektronit ja niiden perusteella yksittäiset alkuaineet. Viilututkimuksessa EDS-analyysin avulla voidaan tunnistaa tarkasti näytteessä olevat käsittelyaineet, niiden suhteellinen osuus ja lisäksi niiden sijainti näytteen sisällä. Näytteitä voidaan tutkia ensin ennen olosuhdekaapissa tehtyjä sääsyklejä ja uudestaan syklien jälkeen, eli käytännössä tutkia, miten kosteus vaikuttaa käsittelyaineiden pysyvyyteen ja sijoittumiseen puuviilussa.

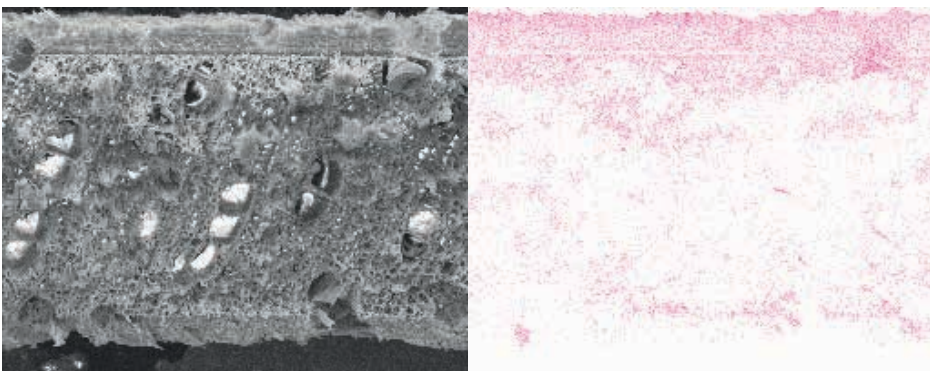
Kosteus vaikuttaa puun puumateriaalin tutkimusmenetelmiin. Esimerkiksi tutkittaessa puumateriaalia SEM-laitteen avulla erityisenä haasteena ovat kappaleen valmistaminen ja käsittely ennen tutkimusta. Puu on hygroskooppinen materiaali eli se luovuttaa ja vastaanottaa ympäristöstään kosteutta. SEM-laitteessa näyte on alipainekammiossa erittäin alhaisessa paineessa, joten jos kappaleessa on vettä, se höyrystyy. Kaasumainen vesi on

ongelma laitteen toiminnan kannalta. Puunäyte täytyy siis kuivata mahdollisimman hyvin ennen SEM-tutkimusta. Puunäytteiden sähkönjohtavuus on matala, joten ne täytyy myös pinnoittaa, ennen kuin näytettä voidaan kuvata. Tutkittavat rakenteelliset yksityiskohdat ovat pieniä, minkä takia selkeä ja tarkka leikkauspinta on erittäin tärkeä analyysin kannalta. Puunäytteen pinta täytyy siis leikata tasaiseksi esimerkiksi mikrotomilla, jossa näytteen pintaa leikataan hyvin terävällä höylämäisellä terällä. Näytteiden valmistelu vaatii siten ylimääräisiä toimenpiteitä verrattuna moniin muihin materiaaleihin.



**Kuva 2.** EDS-analyysi pii-alkuaineen sijoittumisesta koivuviulun poikkileikkauspinnalla (kuva Olli Paajanen).

Kuvassa 2 on näyte, jota on tutkittu EDS-analyysillä. Näyte on ensin kuvattu elektronimikroskoopilla, josta on kuva vasemmalla. Kuvassa 2 oikealla on samasta kohdasta tehty EDS-skannaus, johon on sinisellä värillä merkitty näytteessä oleva pii-alkuaine. Kyseinen koekappale on kyllästetty natriumsilikaatilla eli vesilasilla. Käsittely tapahtuu upottamalla se vesilasiliuokseen. Kuvassa 3 on samasta näytteestä tehty EDS-skannaus, johon on merkitty näytteen sisältämä natrium punaisella.



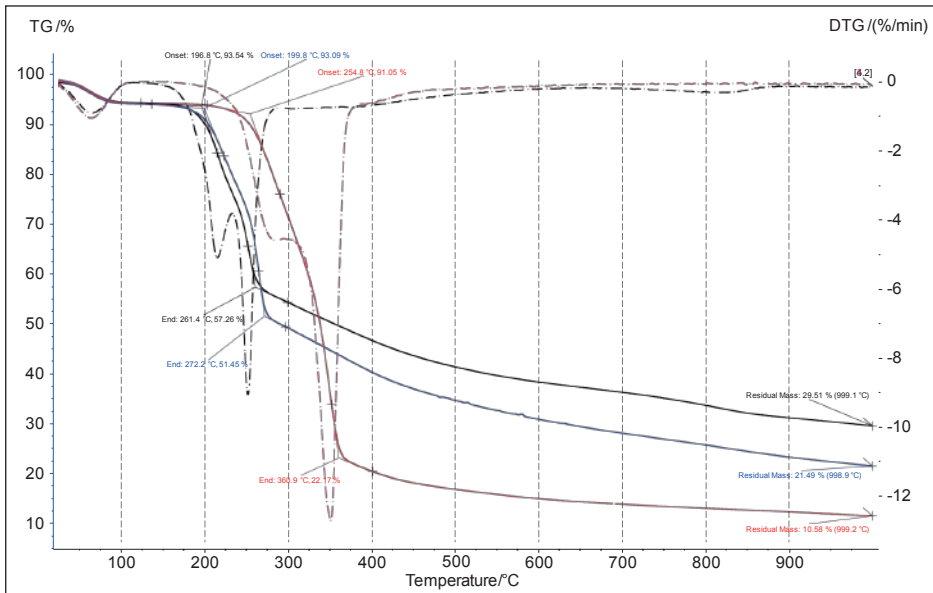
**Kuva 3.** EDS-analyysi natriumin sijoittumisesta koivuviulussa (kuva Olli Paajanen).

Kuvista 2 ja 3 nähdään, että molempia aineita on viilussa käsittelyn jälkeen samoilla aluilla. Käsittelyainetta on kuitenkin selkeästi eniten viilun yläpinnalla. Syynä voi olla viilun geometria tai käsittely modifointiprosessin yhteydessä. Sorvaamalla valmistetun viilun pintojen rakenne ja ominaisuudet poikkeavat toisistaan merkittävästi, koska sorvausprosessissa sylinterimäisestä puupöllistä leikattu viilu pakotetaan tasomaiseen muotoon. Prosessissa viilun alapintaan muodostuu säännöllisiä halkeamia joiden syvyys vaihtelee. Viilun yläpinta on siten sileämpi kuin alapinta. Näiden halkeamien ja epätasaisuuksien takia kastamalla tehty käsittely ei välttämättä takaa tasaista lopputulosta, kun näytteen suurimmat pinnat ovat erilaiset. On myös mahdollista, että kastokäsittelyn jälkeen nestemäinen käsittelyaine valuu toiselta pinnalta helpommin pois riippuen viilun käsittelystä kastamisen tai upotuksen jälkeen tai sen asemoinnista kuivattaessa. Tässä tapauksessa kyse oli esikokeesta, mutta näidenkin havaintojen perusteella viilujen käsittelyyn tulee kiinnittää erityistä huomiota kaikissa modifointikäsittelyn vaiheissa. Painekyllästysmenetelmissä käsittelyaine painetaan puuhun alipaineen, paineen tai näiden yhdistelmän avulla, jolloin voidaan saavuttaa parempi tunkeuma. Näiden tekniikoiden käyttäminen teollisessa sovelluksessa vaatii kuitenkin ylimääräisen prosessivaiheen lisäksi erillisen laitteiston.

## **PUUVIILUJEN TERMISTEN OMINAISUUKSIEN TUTKIMINEN**

Termissillä analyyseillä tutkitaan lämpötilan vaikutusta materiaaleihin. Analyyseillä selvitetään muun muassa näytteessä tapahtuvia reaktioita eri lämpötiloissa, puutuotteiden tapauksessa esimerkiksi liimojen kovettumisreaktioita. Puutuotteiden palosuojausta tutkittaessa termissillä analyysimenetelmillä voidaan arvioida käsittelyjen vaikutusta tuotteen tai materiaalin palokäyttäytymiseen. Yksi käytetty menetelmä on termogravimetrisen analyysin (TGA), jossa näytettä lämmitetään ja siinä tapahtuvia muutoksia seurataan massamuutoksen avulla.

Kuvassa 4 on kolmen TGA-testiajon vertailu. Tässä kokeessa näyte lämmitetään typpi-atmosfäärissä 1 000 °C:n lämpötilaan. Vertailussa on kolme erilaista koivuviilunäytettä: referenssiviilu ja vastaava viilu käsiteltyinä viisi- tai 20-prosenttisella diammoniumfosfaattiliuksella (DAP). Viilunäytteet on valmistettu Aalto-yliopiston Puunjalostustekniikan laitoksella. Kuvassa TG-käyrästä nähdään näytteen massanmuutos testin aikana. Kuvaan on myös lisätty muutamia lämpötiloja ja jäännösmassat (residual mass) prosentteina. Referenssikäyrä on merkitty punaisella; siinä käyrä taittuu alaspäin eli hajoaminen alkaa korkeimmassa lämpötilassa ja jäännösmassa on pienin. Musta käyrä on 20-prosenttisellä DAP-liuksella käsitelty kappale ja sininen 5-prosenttinen DAP-käsittely. Tämän lisäksi differentiaalikäyrät (DTG) kertovat reaktion nopeuden. Kuvaan niistä on luettavuuden takia merkitty kaksi kappaletta: referenssi ja 20-prosenttinen käsittely.



**Kuva 4.** Termogravitometrinen analyysi kolmesta viulunäytteestä.

Kaikissa näytteissä on mittauksen alussa alle 100 °C:n lämpötilassa tapahtuva kuivumisvaihe, koska puunäytteet sisältävät jonkin verran kosteutta. Tämän jälkeen lämpötilan kohotessa näytteissä alkaa tapahtua hajoamisreaktioita. Palosuojakemikaalin vaikutusta voidaan arvioida niin sanotun onsets-lämpötilan avulla: referenssin tapauksessa se on korkeampi (254,8 °C) kuin käsitellyissä viuluissa (196,8/199,8 °C). Tämän lisäksi nähdään eroja jäännösmassassa ja pääreaktion loppulämpötilassa. Käsiteltyjen näytteiden käyttäytyminen voidaan yhdistää palo-ominaisuuksien paranemiseen. Referenssinäytteen DTG-käyrän muodosta voidaan erottaa puun pääkomponenttien hajoaminen: ensin hajoavat hemiseluloosat ja tämän jälkeen selluloosa. Koivunäytteiden käyttäytyminen vastaa aiempia termogravitometrisia tutkimuksia (Grønli et al. 2002, Tapasvi et al. 2013). Hajoamisnopeus on yllä esitetystä mittauksesta suurimmillaan noin 350 °C:n lämpötilassa.

## YHTEENVETO

Yhdistämällä useita tutkimusmenetelmiä voidaan muodostaa tarkempi käsitys käsittelyaineiden käyttäytymisestä puumateriaalissa. Termisillä analyysimenetelmillä voidaan arvioida palo-ominaisuuksia ja SEM-/EDS-laitteistolla voidaan selvittää aineiden sijoittuminen viulussa. Viuluja tutkimalla saadaan tarkkoja mittaustuloksia mutta myös säästetään aikaa ja työtä tuotemittakaavan testeissä. Palosuojaominaisuuksien lisäksi on tärkeää tutkia käsittelyjen pysyvyyttä, koska puumateriaali reagoi kosteuden muutoksiin. Käsittelyaineiden, veden ja puun vuorovaikutuksen ymmärtäminen on tärkeää, kun kehitetään uusia puutuotteita ja käsittelymenetelmiä.

## LÄHTEET

Bekhta, P., Bryn, O., Sedliacik, J., & Novák, I. (2016). Effect of different fire retardants on birch plywood properties. *Acta Facultatis Xylogologiae Zvolen res Publica Slovaca*, 58(1), 59.

Grønli, M. G., Várhegyi, G., & Di Blasi, C. (2002). Thermogravimetric analysis and devolatilization kinetics of wood. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 41(17), 4201–4208.

Tapasvi, D., Khalil, R., Várhegyi, G., Tran, K. Q., Grønli, M., & Skreiberg, Ø. (2013). Thermal decomposition kinetics of woods with an emphasis on torrefaction. *Energy & Fuels*, 27(10), 6134–6145.



# PK-YRITYSTEN TIETOTURVAN TESTAAMINEN HACKATHONISSA

Mikko Hokkanen & Kimmo Haapea

Tietoturvaohut ovat kansainvälisesti ajankohtaisia aiheita. Erilaisten käyttäjätietojen päätyminen väärin käsiin ja murtautumiset tietojärjestelmiin ovat lähes viikoittain otsikoissa myös Suomessa. Myös pienten ja keskisuurten teollisuusyritysten näkökulmasta kyseessä on huomion arvoisen asia etenkin kansainvälisen kilpailun koventuessa. Kohdennettujen hyökkäysten tarkoituksena voi olla esimerkiksi tuotantotoiminnan häirintä siten, että yrityksen toimitusvarmuus kärsii. Yleinen ajatus, ettei kukaan tee esimerkiksi yrityksen ERP-järjestelmän tiedoilla mitään eikä järjestelmän tietoturvaan tarvitse siten kiinnittää erityistä huomiota, on virheellinen. Hyökkäys voidaan toteuttaa myös siten, että yritykseltä estetään pääsy omaan tietojärjestelmään tai sen osaan ja käytännössä pysäytetään koko tuotantotoiminta.

Mikkelissä syyskuussa järjestetty Security Hack -tapahtuma jatkoi suosiotaan kasvattaneiden Industrial Hackathon -tapahtumien sarjaa ja keskittyi tuotannollisten pk-yritysten tietoturvaan ketterien kokeilujen merkeissä. Security Hack järjestettiin osana Etelä-Savon maakuntaliiton rahoittamaa ja Mikkelin kehitysyritys Miksei ja Kaakkois-Suomen Ammattikorkeakoulun toteuttamaa Tuma CO<sub>2</sub> – Digileanilla kohti vähähiilisempää tuotantoa -hanketta, jossa kehitetään teollisuuden uusia vähähiilisiä toimintamalleja ja hyödynnetään erilaisia digitaalisia kehitysokaluja.

Mikkelin kehitysyritys Miksei Oy:n kehityspäällikkö Kimmo Haapea arvioi kyseessä olevan ensimmäinen kerta ainakin Etelä-Savossa ja kenties koko Suomessa, kun pk-yritysten tietoturvaa testataan kilpailun muodossa. Plastep Oy:n toimitusjohtaja Kristiina Ketomäen mukaan yleisesti arvellaan, että pk-yritysten tietoturvassa on aukkoja, ja siksi on hyvä testata asiaa myös julkisesti.

Security Hack -kilpailuun kutsuttiin osallistujia kesäkuussa julkaistulla kutsulla. Kutsun liitteenä oleva kuva (kuva 1) toimi tapahtuman karsintatehtävänä, sillä tapahtuman ilmoittautumiseen tarvittava linkki oli piilotettu kuvaan, josta se piti osata purkaa. Kutsua jaettiin sosiaalisessa mediassa sekä Miksei ja Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulun sivuilla. Osallistujiksi odotettiin opiskelijoita, alan harrastajia sekä tietoturva-alan yrityksiä.



*Kuva 1. Kilpailukutsun liitteenä julkaistu kuva (kuva Metatavu Oy).*

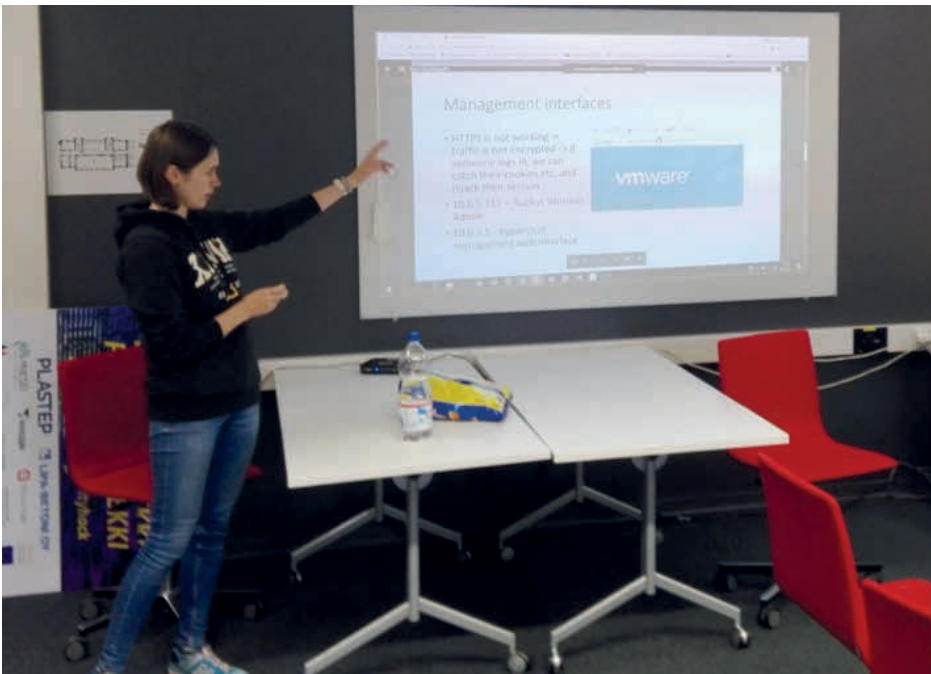
Tapahtuman finaali järjestettiin 13.–14.9.2017 Mikkelissä Kaakkois-Suomen Ammattikorkeakoulun tiloissa ja internetissä. Finaaliin saapui yhdeksän joukkuetta, ja osa joukkueiden jäsenistä osallistui kilpailuun netin kautta.

Hackathonin finaalissa kohteena oli kaksi eteläsavolaista pk-yritystä, joiden järjestelmiin kilpailijat yrittivät murtautua tapahtumaa varten rakennetussa turvallisessa testausympäristössä, joka vastasi yritysten todellisia ympäristöjä. Asiantuntijoiden mukaan yritysten palomuurien murttaminen olisi vaatinut kokeneeltakin hakkerilta todennäköisesti enemmän kuin 24 tuntia aikaa, joten hackathonin suunnitteluvaiheessa päätettiin helpottaa tehtäviä poistamalla ympäristöstä palomuurit, jotta kilpailijat ehtisivät testaamaan myös varsinaisia tehdasjärjestelmiä annetun ajan puitteissa. Kilpailijoiden tehtävänä oli murtautua yritysten verkkoon ja tietojärjestelmiin sekä muokata järjestelmissä olevaa tietoa. Kilpailijat yrittivät myös kaapata verkossa olevia aitureita ja muita laitteita sekä käyttää niitä esimerkiksi palvelunestohyökkäyksiin. Kilpailijoilta pyydettiin myös kehitysideoita tietoturvan parantamiseksi mahdollisten tietoturva-aukkojen löytyessä.

Kilpailun tehtävät osoittautuivat haastaviksi, ja kilpailun edetessä toisen vuorokauden puolelle osa joukkueista luovutti. Kilpailusta muodostui kahden joukkueen, Spirit of k8s (kuva 2) ja Cowfish (kuva 3), välinen tiukka kamppailu, joka ratkesi lopullisesti vasta viime hetkillä. Voittajaksi selviytyi Spirit of k8s, joka onnistui vuorokauden aikana murttamaan kaikki järjestelmät sekä muuttamaan järjestelmään tallennettua tietoa eli käytännössä selvitti kaikki asetetut haasteet.



***Kuva 2.** Voittajajoukkueen Spirit of k8s esitys käytetyistä menetelmistä. Kuvassa Volodymyr Lubenets (vas) ja Artem Kolichenkov (kuva Mikko Hokkanen).*



***Kuva 3.** Kateryna Chumachenko esittelemässä havaittuja tietojärjestelmän haavoittuvuuksia (kuva Mikko Hokkanen).*

Security Hack -tapahtuman palkintosumma 2 000 euroa jaettiin kolmen joukkueen kesken. Kolmanneksi sijoittui joukkue Team Rocket, jonka jäseninä olivat Tran Qia Guan, Ha Trung Hun, Dang Vu Anh ja Trinh Minh The (kuva 4).



*Kuva 4. Kilpailun kolmanneksi sijoittuneen Team Rocketin Tran Qia Guan, Kimmo Haapea Miksei (vas), Jari Ketomäki Plastep Oy ja Heikki Kurhinen Metatavu Oy (kuva Mikko Hokkanen).*

Toiseksi sijoittuneeseen Cowfish -joukkueeseen kuuluivat Kateryna Chumachenko ja Ricardo Van Zupthen (kuva 5).



*Kuva 5. Toiseksi sijoittuneen joukkueen Chowfish Kateryna Chumachenko vastaanotti palkintoshekin (kuva Mikko Hokkanen).*

Voittajajoukkueeseen Spirit of k8s kuuluivat Artem Kolichenkov ja Volodymyr Lubenets (kuva 6).



*Kuva 6. Voittajajoukkue vastaanotti palkintoshekin (kuva Mikko Hokkanen).*

Tapahtumaa järjestivät aktiivisesti myös mikkiläiset startup-yritykset Metatavu Oy ja Lokkit Oy sekä Production Software Oy. Marski Data Oy vastasi kilpailua varten rakennetun testausympäristön toteutuksesta. Tapahtumaa tukemassa olivat Suur-Savon Osuuspankki, Etelä-Savon Kauppakamari, Mikkelin Yrittäjät, Mikkelin Kehitysyhtiö Miksei Oy sekä kohdeyritykset Plastep Oy ja Lipa-Betoni Oy.

# PURE SHEAR -KOEKAPPALEEN SÄRÖNKASVUTESTIT – TESTAUSTAVAN VAIKUTUKSISTA

Tero Karttunen

Kumimateriaaleja käytetään usein niiden vaimentavien ominaisuuksien vuoksi sovelluksissa, joissa muun muassa värähtelyn, värinän, melun, kitkan ja/tai pintapaineen hallinnalla on merkittävä rooli. Tällaisia kohteita ovat muun muassa koneiden ja laitteiden tuennat, telat, erilaiset pinnoitukset sekä renkaat. Edellä mainittujen ominaisuuksien lisäksi kumimateriaalilta voidaan vaatia esimerkiksi lämmönkestävyyttä, kulutuskestävyyttä, kemikaalikestävyyttä yms. Ominaisuuksiin voidaan vaikuttaa kumilaadun ja sekoituksen lisäksi erilaisilla täyte- ja lisäaineilla. Korkeamman teknologian kohteissa kumisovellus joudutaan mitoittamaan myös väsyttävää kuormitusta silmällä pitäen, ja tällöin väsymiskestävyyteen vaikuttavat kuormitusten lisäksi kumimateriaalin koostumus ja väsymiskestävyys. Kaakois-Suomen ammattikorkeakoulun ”BioCom – mikrokiteinen selluloosa kumiseoksiin” -hankkeessa tutkittiin mikrokiteisen selluloosan käyttöä kumiteollisuudessa, johon artikkelissa käsitelty testausmenetelmän kehitys osana kuuluu. Hanketta rahoitti muun muassa Etelä-Savon maakuntaliitto Euroopan aluekehitysrahastosta.

## JOHDANTO

Repivän ja väsyttävän kuormituksen alaisen kumimateriaalin väsymiskäyttäytymistä voidaan tutkia särönkasvutestillä, jossa käytetään niin sanottua ”pure shear” -koekappaletta. Tästä on kirjallisuudessa useita viitteitä (ks. lähteet). Testissä on tarkoituksena määrittää särönkasvunopeus säröön syötetyn energian, tässä tapauksessa niin sanotun repimisenergian (engl. tearing energy), suhteen. Yksinkertaistettuna tämä tapahtuu kuormittamalla säröllistä koekappaletta eri kuormitustasoilla samalla väsytystaajuudella ja seuraamalla samanaikaisesti säröpituutta. Kumi on viskoelastinen materiaali, mikä aiheuttaa väsytystestissä hystereesikäyttäytymistä sekä lämpenemistä. Lämpeneminen vaikuttaa puolestaan kumin materiaaliominaisuuksiin, joten testissä käytetty veto-/puristus-kuormitussuhde, ajotaajuus ja muut ajoon vaikuttavat parametrit ovat tuloksiin vaikuttavia tekijöitä.

## PURE SHEAR -KOEKAPPALE JA SÄRÖNKASVUTESTI

Koekappale kiinnitetään testausjigiin kuvan 1 osoittamalla tavalla. Osassa testeissä on käytetty etukameraa ja osassa etu- sekä takakameraa.



*Kuva 1. Pure shear -koekappaleen testauskoonpano (kuva Kari Dufva).*

Koekappale muodostuu ohuesta ja leveästä elastomeerilevystä, jonka leveyden suhde korkeuteen on 10:1. Tällöin repimisenergia voidaan laskea myös säröttömällä koekappaleella kaavalla (1). Tämä on tärkeä piirre testauksen kannalta, koska koekappaleen globaaleista testiparametreista (voima- ja siirtymäarvojen avulla) voidaan suoraan laskea särönkärkeen vaikuttava repimisenergia.

Säröttömällä koekappaleella määritetään niin sanottu ”tearing energy” eli repeämisenergia  $T$  alla olevan kaavan mukaisesti.

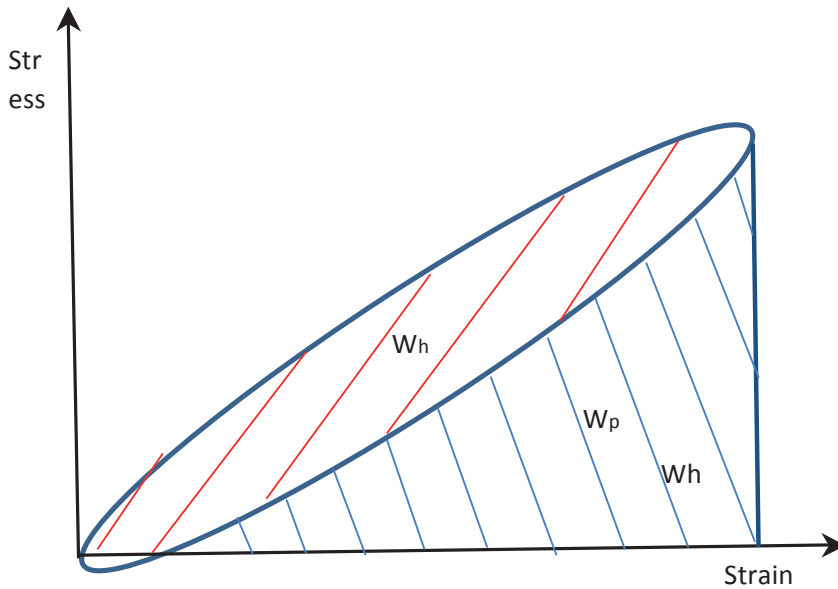
$$T = W \cdot h_0, \quad (1)$$

jossa

$W$  koekappaleessa elastisesti varastoitunut energia tilavuusyksikköä kohden eli venymä-energiatiheys (”strain energy density”) määritettynä säröttömän koekappaleen jännitys–venymä-käyrän integraalista, ja

$h_0$  koekappaleen nimelliskorkeus kuormittamattomana.

Testin aikana koekappaletta ajetaan siirtymäohjattuna eri nimellisvenymätasoilla. Venymä-energiatiheys (Strain Energy Density) määritetään väsytyskuormituksen nousu- tai paluusykleistä (kuva 2). ISO 27727 -standardin mukaan täytetyillä kumilla pitäisi käyttää paluusykleä. Stadlbauerin et al. ja Feichterin mukaan venymäenergiatiheys on määritelty noususykleistä perustellen sen olevan säröä auki repivää työtä. Näin on tehnyt myös Mars & Fatemi. Väsytyssykleistä käytetään laskennassa vain positiivinen eli vedonalainen osa ja puristusosa jätetään huomioimatta.



**Kuva 2.** Venymäenergiatiheyden määrittäminen jännitys–venymä-käyrästä.

Venymä-energiatiheys  $W$  voidaan määrittää käyrän paluuosasta

$$W = W_p, \quad (2)$$

tai käyrän nousuosasta

$$W = W_n = W_p + W_h. \quad (3)$$

Venymä-energiatiheys venymärajoissa  $\varepsilon_0$  ja  $\varepsilon_{\max}$  on

$$W = \int_{\varepsilon_0}^{\varepsilon_{\max}} \sigma d\varepsilon. \quad (4)$$

Venymä on

$$\varepsilon = \frac{ds}{s}, \quad (5)$$



ja siten venymä-energiatiheys voiman ja siirtymän kautta

$$W = \int_{s_0}^{s_{max}} \frac{F}{A \cdot s} ds \quad (6)$$

Testeissä on käytetty niin sanottua yhden koekappaleen menetelmää, jossa TE-arvot määritetään koekappaleesta esimerkiksi Stadlbauerin et. al. ja Feichterin tavoin.

Jos merkitään  $s = h_0$  ja  $A = t \cdot (w - c)$ , tällöin repimisenergia voidaan laskea kaavasta (1)

$$T_{max} = \frac{U}{t(w-c)}, \quad (7)$$

jossa

- U koekappaleen mekaaninen kokonaisenergia
- t koekappaleen paksuus
- w koekappaleen leveys
- c särön pituus

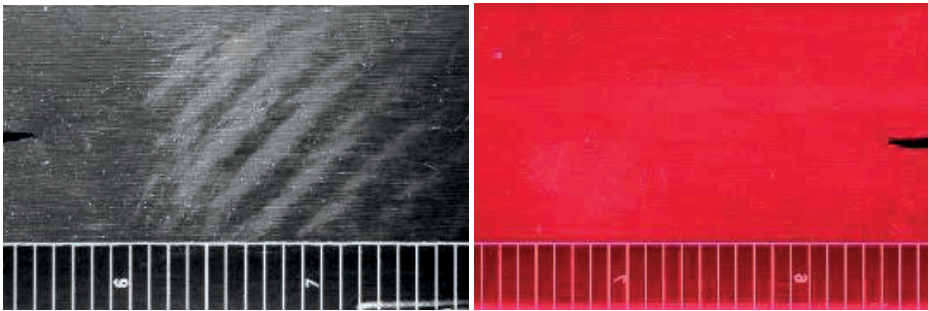
Kokonaisenergia voidaan ilmaista

$$U = \int (F|F \geq 0) ds \quad (8)$$

## TESTI JA TULOKSET

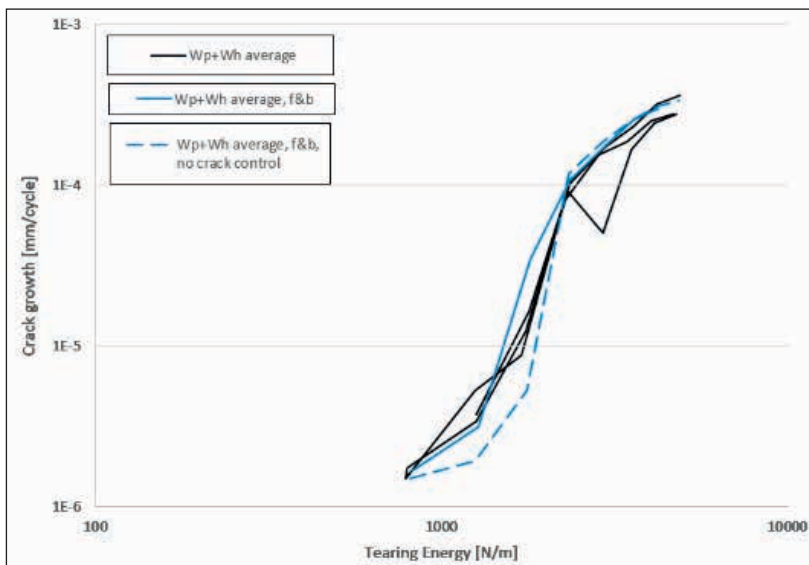
Särönkasvutestissä on tärkeää, että särö etenee hyväksytyllä tavalla, jossa särö ei haaraudu, pirstaloidu tai poikkea muuten huomattavasti kuormitussuuntaa vasten poikkitasosta suunnasta. Kontrolloidussa testissä särön etenemistä seurataan. Särön käyttäytyessä ei-toivotulla tavalla kyseinen yksittäinen ajo hylätään ja uusitaan uudella alkusäröllä. Särön oikean etenemistavan lisäksi säröä on ajettava riittävästi, jotta särönkasvunopeus voidaan määrittää luotettavasti. Testeissä hyväksytysti etenevää säröä ajettiin tämän vuoksi vähintään 0,5 millimetriä kuormitustasoa kohden.

Joillakin koekappaleilla matalilla kuormitustasoilla ajettaessa särönkärki saattoi kehittyä eri tavoin koekappaleen etu- ja takapuolen välillä. Tämä johtuu siitä, että särön kehittyessä leikatusta alkusäröstä särönkärki ei etene ideaalisena. Sen sijaan särö kehittyy ensin koekappaleen pinnoilla leikatun alkusärön särönkärjen kohdalla, ja vasta kuormitustason noustessa riittävästi särönkärki kehittyy läpi koekappaleen paksuuden kattavaksi säröksi. Matalilla kuormitustasoilla särönkärjen kehittämisessä on kumityypistä riippuen eroja, ja sen vuoksi kontrolloitu särön kehittyminen on suotavaa. Kontrolloidussa ajossa särön etenemistä valvotaan, ja tarpeen mukaan toistetaan ajo uudella alkusäröllä. Alla (kuva 3) on esitetty esimerkki särönkärjen erilaisesta kehittämisestä koekappaleen etu- ja takapuolelta. Kuvasta nähdään, että takapuolelta särönkärki on haarautunut kahdeksi säröksi etupuolen pysyessä yhtenä särönkärkenä. Korkeammilla kuormitustasoilla särönkasvussa ei ole havaittu kyseisiä piirteitä.



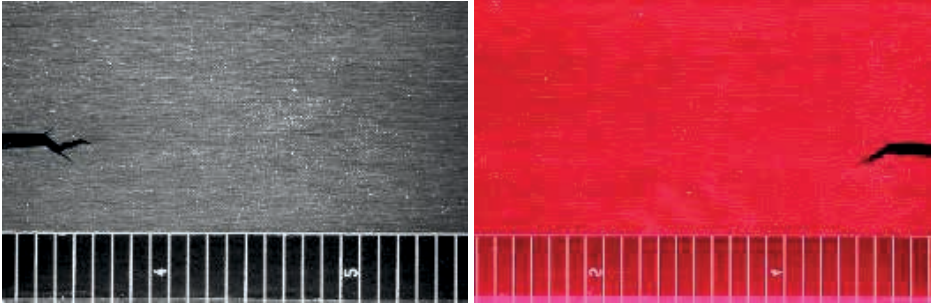
**Kuva 3.** KSK003\_22-koekappaleen ajo 2c (2,0 mm). Etukuvassa särö etenee hyvin, mutta takakuvassa särö on haarautunut.

KSK003-sarjan tuloksista (kuva 4) on esitetty viiden koekappaleen särönkasvutestien tulokset särönkasvunopeus–repimisenergia-kuvaajassa. Kolmen koekappaleen särönseurantaan käytettiin vain etukameraa (musta) ja kahdessa koekappaleessa etukameran lisäksi myös takakameraa (sininen). Etu- ja takapuolen välillä särön käyttäytymisessä saattaa olla eroja, minkä vuoksi takakameralla varmistetaan särön oikeatyypinen eteneminen molemmin puolin. Yhdellä koekappaleella (KSK003\_24) ajettiin kaikki kuormitustasot yksitellen peräkkäin ilman kontrolloitua särön etenemisen seuranta välittämättä särön haarautumisista (katkoviiva). Tällöin särönkasvunopeus jää alhaisilla kuormitustasoilla matalammaksi verrattuna kontrolloituihin ajoihin. Tämä johtuu särön haarautumiskäyttäytymisestä, jolloin energia jakautuu kahteen tai useampaan säröön hidastaen särönkasvua.



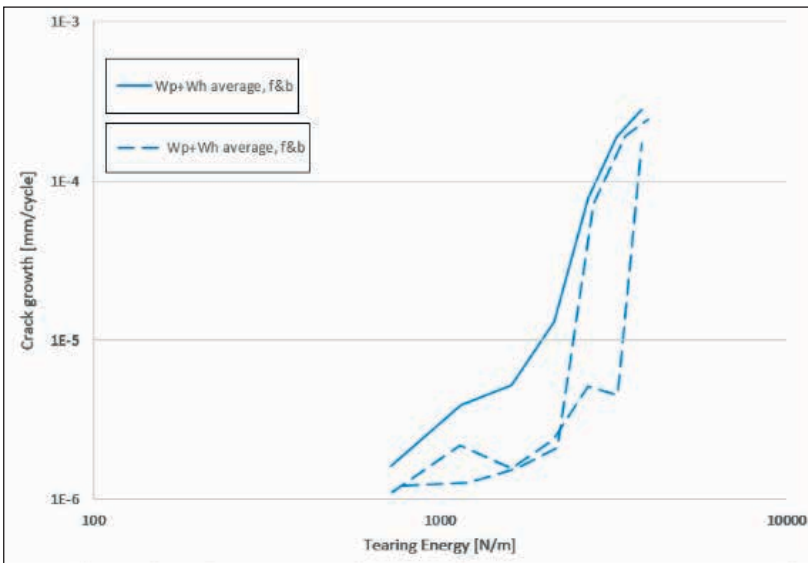
**Kuva 4.** KSK003-koekappalesarjan särönkasvutestien tuloksia.

Alla (kuva 5) on esitetty koekappaleen KSK003\_24 (kontrolloimaton ajo) etu- ja takakameran kuvat kolmannen kuormitustason (2,5 mm) jälkeen. Kuvasta nähdään särön haarautuneen monessa vaiheessa, ja siten alhaisempi särönkasvunopeus on ymmärrettävä ilmiö, koska tällöin repimisenergia jakautuu särön eri haarojen kesken. Neljännessä ajostepistä eteenpäin särö eteni ilman haaroja, ja särönkasvunopeus on vastaava verrattuna muihin testiajoihin.



**Kuva 5.** KSK003\_24-koekappale kolmannen ajostepin jälkeen (2,5mm). Särö on haarautunut eri vaiheissa.

Toisella kumiseoksella (Ref 2) ajettiin myös särönkasvutestejä. Kyseisellä seoksella ajettiin kolme koekappaleita, joista yksi saatiin ajettua kontrolloidusti. Kumiseos oli alttiimpi särön haarautumiselle kuin KSK003-koekappaleet. Tuloksista (kuva 6) nähdään, että kontrolloimattomilla ajoilla haarautumiskäyttäytymisen vaikutus särönkasvunopeuteen on paljon merkittävämpi kuin edellisellä sarjalla.



**Kuva 6.** Ref 2 -sarjan särönkasvutestien tuloksia.

## YHTEENVETO

Kahden koekappalesarjan testitulosten perusteella voidaan todeta, että kumin särönkasvutestissä testaustapa vaikuttaa tuloksiin merkittävästi. Särön etenemistä on valvottava, jotta etenemistapa on oikeanlainen ilman särön haarautumista tai muita epätoivottavia piirteitä. Tällöin on suositeltavaa käyttää kamerakuvausta koekappaleen etu- sekä takapuolella. Testien perusteella kumiseos vaikuttaa myös merkittävästi särön haarautumiskäyttäytymiseen. Joillain kumiseoksilla haarautumiskäyttäytyminen voi olla niin voimakasta, että se hankaloittaa merkittävästi särönkasvutestin tekemistä.

## LÄHTEET

Feichter C. Ph.D. Thesis, University of Leoben; 2006.

Mars W.V., Fatemi A, Fatigue crack nucleation and growth in filled natural rubber, J. Fatigue Frac. of Eng. Mat. Struct., Vol. 26, 2003, pp. 779–789.

Stadlbauer F., Koch T., Planitzer F., Fidi W., Archodoulaki V., Setup for evaluation of fatigue crack growth in rubber: Pure shear sample geometries tested in tension-compression mode, Polymer Testing, Volume 32, Issue 6, September 2013, Pages 1045–1051.

# DIGITALO-HANKE MIKKELIN ASUNTOMESSUILLA KESÄLLÄ 2017

Anni Suutari & Annu Vastela & Karri Saarinen & Ville Kakkonen

Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulun (Xamk) Mikkelin kampuksella käynnistyi tammiukuussa 2016 Energiatehokkaan asumisen mittaus- ja kehitysympäristö -hanke nimeltään Digitalo. Hanke toteutetaan Metsä-, ympäristö- ja energiapainoalalla. Energiatehokkaan asumisen mittaus- ja kehitysympäristö -hankkeessa tutkitaan asumisen energiategokkuutta ja energian pientuotannon suhdetta ostoenergiaan. Tavoitteena on parantaa asumisen energiategokkuutta, pienentää rakennusten hiilidioksidipäästöjä sekä edistää rakennusten energiaomavaraisuutta. Hankkeen avulla edistetään uusiutuvien energiamuotojen käyttöä.

## JOHDANTO

Rakennusten sähkönkulutus ja pienimuotoisen sähköntuotannon hallinta perustuvat mittaukseen ja mittauslaitteiston automaattiseen luentaan, jolloin sähköä voidaan ostaa ja myydä muuttuvan hintatason mukaisesti. Uusiutuvien rakennusmääräysten mukaisesti uudet rakennukset ovat lähes nollaenergiarakennuksia, ja tällaisissa rakennuksissa on usein tavoitteena tuottaa osa omasta energiantarpeesta.

Omalla energiantuotannolla tavoitellaan pienempää ostoenergian kulutusta. Itse tuotetun sähköenergian mahdollisimman tehokas hyödyntäminen asuinmukavuutta tai sisäilman laatua vaarantamatta edellyttää rakennuksen eri järjestelmien seuranta ja ohjausta. Tiiviiden rakennusten liian suurella energiankulutuksen säästötavoitteella tai hallitsemattomalla ohjauksella voidaan aiheuttaa rakennuksen sisäilman heikkeneminen sekä rakenteellisia vaurioita.

Reaaliaikaisen seurantatiedon avulla voidaan vaikuttaa rakennusten kuluttamaan energiamäärään sekä seurata rakennuksen energiatasetta ostetun ja myydyt energian suhteesta. Digitalo-hankkeessa tuotetaan tietoa taloteknisten järjestelmien toiminnasta yhdessä aurinko- ja tuulivoimalan tuottaman energian, varastointikapasiteetin sekä ostoenergian kanssa. Lisäksi hankkeessa selvitetään ohjausjärjestelmien nykytilaa. Hankkeen toimenpiteinä Mikkelin asuntomessuilla on esillä siirrettävä mobiililaboratorio, jossa jaetaan tietoa rakennusten energiategokkuudesta sekä aurinkoenergian tuotannosta ja tiedotetaan uusista tekniikoista sekä talotekniikan koulutuksesta.

## ASUNTOMESSUJEN TUNNELMA

Asuntomessut 2017 Mikkelissä olivat hienot, ja tunnelma vaikutti olevan koko messujen ajan hyvin positiivinen ja hyväntuulinen. Ihmiset olivat iloisia ja yllättyneitä siitä, miten upea paikka Kirkonvarkaus ja Saimaan läheisyys olivat messupaikkana. Messualue oli hyvin suunniteltu, ja ihmisten oli erittäin helppo liikkua alueella. Järjestelyt oli suunniteltu asiakaslähtöisesti. Messujärjestäjät olivat erittäin innostuneita ja hyväntuulisia, ja kaikki puhalsivat yhteen hiileen.

Messuilla työskenteli kolme Xamkin talotekniikan kolmannen vuoden insinööriopiskelijaa Mikkelin kampukselta. Anni ja Annu olivat projektissa mukana jo keväällä koulussa järjestettyjen projektiopintojen yhteydessä. Karri palkattiin projektiin haastattelun jälkeen. Kaikki kolme ovat samalta luokalta, joten ryhmä pystyi alusta alkaen hyvin itsenäiseen toimintaan. Ryhmällä pysyi huumori mukana tekemisessä koko messujen ajan, vaikka työtunteja kertyi kaikille runsaasti. Kesätyöntekijät Anni, Annu ja Karri kuvassa 1 vasemmalta lukien.



*Kuva 1. Kesätyöntekijät (kuva Karri Saarinen).*

Messujen aikana otimme haltuun koulun eri sosiaalisen median tilejä. Facebook-tiliä käytimme tasaiseen tahtiin koko messujen ajan. Instagram-tiliä hallitsimme yhden viikon, jonka aikana järjestimme Jurassic rock -lippukisan. Osallistujien tuli tykätä julkaisemastamme kuvasta ja ilmiäntä ystävä, jonka kanssa halusi tapahtumaan lähteä. Järjestimme myös koulun Snapchatissä seuraajien kesken kisan, jossa arvoimme kaksi lippua asuntomessuille. Seuraajien tuli snäpätä kesäinen kuva osallistuakseen arvontaan. Sosiaalinen media saavutti suuren suosion ja lisäsi näkyvyyttä erityisesti nuorten keskuudessa.

## MESSUKOHTAAMISIA

Messuosastollamme kävi erittäin kiinnostuneita ihmisiä. Kuvassa 2 on esitetty näkymä messuosastolta vilkkaana torstai-iltapäivänä, jolloin asuntomessuilla oli jatkettu aukioloaika. Monet kävijät olivat jo osaavia aurinkosähkön käyttäjiä. Monilla oli esimerkiksi mökeillä käytössä aurinkopaneelit, koska tietyille alueille sähköverkon tuominen on erittäin kallista ja mökit olivat vain kesäkäytössä. Aurinkopaneeleista saatava teho riitti kattamaan hyvällä akkujärjestelmällä tarvittavan tehon käytössä oleville laitteille. Osalle aurinkosähkön käyttö ja muut osalaitteet olivat aivan uusi tuttavuus. Pääsimme valistamaan ihmisiä aurinkosähkön hyödyistä ja kannattavuudesta. Kyllä joukosta löytyi niitä epäilijöitäkin, joiden mielestä aurinkosähköstä ei ole mitään hyötyä tai ettei se kannata tai maksa itseään ikinä takaisin. Heille tietenkin yritimme kertoa tämän hetken aurinkoenergian hyödyistä ja hieman hinnoista ja kannattavuudesta totuudenmukaisesti. Kävijöitä kiinnosti myös asuntojen sisäilmastoasiat. Kerroimme kävijöille hyvän sisäilman tunnusmerkkejä sekä asioita, jotka huonontavat sisäilmaa tai tietyiltä osin myös parantavat sitä. Kerroimme kävijöille myös erilaisista järjestelmistä liittyen sisäilmaan, ilmanvaihtoon ja lämmitysjärjestelmiin. Tulevaisuudessa taloissa käytetään niin sanottuja hybridijärjestelmiä, joissa yhdistellään erilaisia energiantuotantomalleja – esimerkiksi rakennukseen voisi yhdistää maalämmön ja aurinkoenergian.



*Kuva 2. Näkymä messuosastolta (kuva Ville Kakkonen).*

## XAMK ASUNTOMESSUILLA

Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulun (Xamk) piste sijaitsi kohteen 28 tontilla, jossa oli Etelä-Savon ammattiopiston (Esedu) rakentama talo Opaali. Esedun messutaloa rakensivat opiskelijat sekä opettajat. Opaali-pientalo on rakennettu viidestä kontista. Talossa on yksi makuuhuone, tupakeittiö, sauna, pesuhuone ja erillinen WC. Taloon tuli 17 aurinkopaneelia, jotka tukevat omavaraista sähköntuotantoa. Talossa on myös pieni takka sekä ilmalämpöpumppu. Sekä Opaalin että Xamkin messuosaston valmistuminen ajoittui aivan viimeisille päiville ennen asuntomessujen avajaispäivää. Kuvissa 3 ja 4 on esitetty Opaali ja Xamkin esittelykontti viikkoa ennen messujen avajaispäivää.



*Kuva 3. Näkymä Opaalin etupihalla viikkoa ennen messujen alkua (kuva Ville Kakkonen).*





*Kuva 4. Näkymä Xamkin messuosastolla viikkoa ennen messujen alkua (kuva Ville Kakkonen).*

Xamkin mukana olo messuilla oli osa Digitalo-hanketta, jonka aiheena on lisätä energiatehokkuutta asumiseen älykkäiden ratkaisujen avulla. Messujen aikana hankkeen tavoitteena oli tuottaa uutta tietoa aurinkoenergiasta osana muita talotekniikan osajärjestelmiä sekä levittää tietoa energiaomavaraisuudesta ja energiatehokkaista ratkaisuista. Xamkin pisteellä oli omat aurinkopaneelit, josta saimme sähköenergian kontissa oleville laitteille, näytöille, tietokoneelle, jääkaapille ja vedenkeittimelle. Pystyimme reaaliajassa esittelemään messukävijöille aurinkopaneeliemme toimintaa.

Esittelimme myös Esedun talon aurinkosähköjärjestelmää. Saimme reaaliaikaista tietoa paneelien tuottamasta sähkötehosta ja talon kulutuksesta sekä näimme, tarvitsiko järjestelmä sähköverkosta apua talon kulutukseen nähden vai myytiinkö aurinkosähköä sähköverkkoon.

Messuvalmistelut jakautuivat usealle viikolle. Kaikki tarvittava materiaali ja kalusto kerättiin valmiiksi ennen messuja ja vietiin paikoilleen ennen messujen alkua. Paneelit ja telineet vietiin ensimmäisen messuviikon alussa paikoilleen, ja asennukset onnistuivat päivässä. Asuntomessujen avajaisten aattona vietettiin lehdistöpäivää. Lehdistöpäivänä grillasimme näyttöstyyliin makkaraa sähkögrillillä, joka sai energiansa aurinkopaneeleista (kuva 5).

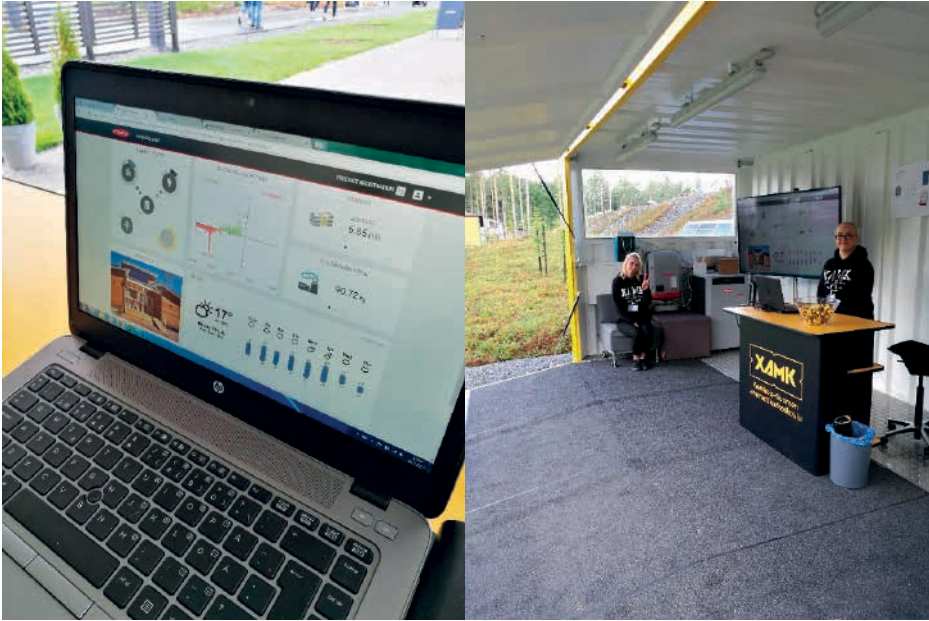


**Kuva 5.** Grillausta aurinkosähköllä lehdistöpäivänä (kuva Karri Saarinen).

Opaali-talossa oli myös kolmenlaisia antureita. Mittasimme Schneiderin kannettavan mittasalkun avulla tiloista lämpötilaa, suhteellista kosteutta ja hiilidioksidipitoisuuksia. Mittasalkku ja anturit on esitetty kuvassa 6. Tietenkään nämä mittaukset eivät antaneet totuudenmukaista kuvaa asumisympäristöstä, koska talo ei ollut messujen aikana asuiskäytössä. Ilmastointia ei pidetty päällä messuaikana ja ovet olivat avoinna koko ajan. Messuvieraille kerrottiin, että esimerkiksi hiilidioksidipitoisuuksien mukaan voitaisiin ilmastointia säätää automaattisesti, jos anturi olisi liitetty ilmastointilaitteen automaatioon. Mittaustulokset monitoroitiin Xamkin esittelykontilla oleville näyttölaitteille. Mittauslaitteiston monitorointi on esitetty kuvassa 7.



**Kuva 6.** Schneiderin mittasalkku ja mitta-anturit (kuva Ville Kakkonen).



*Kuva 7. Opaalin mittauslaitteiston monitorointi (kuvat Ville Kakkonen).*

Esedun talon laitteistoista ja automaatiojärjestelmistä oli markkinoinnissa annettu hieman yliampuva kuva. Osa kävijöistä luuli markkinoinnin perusteella, että talossa on kiinteä mittalaitteisto, automaatiota tai älykotijärjestelmä. Vaikka talossa ei ollut hienoa tekniikkaa, herätti talon konttirakenne ja minitalo-konsepti paljon kiinnostusta messuvieraissa. Ajatuksia konttirakentamisesta vaihdettiin jonkin verran myös Xamkin esittelykontilla aurinkopaneelikeskustelun ohessa. Parhaimmillaan Opaalin edessä oli pitkä jono ihmisiä odottamassa vuoroaan sisälle pääsyyn (kuva 8). Kun kävijämäärät olivat suurimmillaan, hiilidioksidipitoisuuden nousu oli helposti havaittavissa taloon sijoitettujen mitta-antureiden syöttämän datan perusteella. Hiilidioksidipitoisuus ei kuitenkaan missään vaiheessa noussut yli sisäilman suositellun rajan.

## **YHTEENVETO**

Energiatavokkaan asumisen mittaus- ja kehitysympäristö -hanke (Digitalo-hanke) osallistui heinä-elokuussa 2017 Mikkelin asunomessuille liikuteltavan mittauslaboratorion avulla. Mittauslaboratoriossa esiteltiin aurinkosähköjärjestelmän tuotantoa ja sisäilmanlaadun mittausta ja monitorointia samalla tontilla olevan messukohde Opaalin sisäilmasta. Opaalin rakensi asunomessualueelle Etelä-Savon ammattiopisto Esedu. Hankkeen puitteissa päästiin testaamaan oppilaitosten välisen yhteistyön toimivuutta ja teknologian ja koulutuksen esillepanoa yhdessä yleisömäärältään Suomen suurimmassa kesätapahtumassa.



*Kuva 8. Messuvieraat jonottavat Opaalin etupihalla (kuva Ville Kakkonen).*

Asuntomessut sujuivat Digitalo-hankkeen ja Xamkin osalta erittäin mainiosti. Messukävijöille saatiin jaettua tietoa aurinkosähköjärjestelmien mahdollisuuksista ja rakennusten sisäilman laatuun vaikuttavista tekijöistä. Kesällä 2019 asuntomessut pidetään Kouvolassa, jossa sijaitsee myös yksi Xamkin kampuksista. Mikkelin messut luovat hyvän pohjan, jos Xamk haluaa osallistua myös Kouvolan asuntomessuille. Messuteemaksi voisi hyvin sopia Mikkelin messuilla paljon kiinnostusta herättäneet älykotijärjestelmät.

Energiatehokkaan asumisen mittaus- ja kehitysympäristö -hanke on Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulun (Xamk) hallinnoima hanke, joka kuuluu Metsä-, ympäristö- ja energiapainoalaan. Hanke toteutettiin ajalla 1.1.2016–30.4.2017. Hankkeen päärahoittaja on Etelä-Savon maakuntaliitto Euroopan aluekehitysrahastosta (EAKR). Lisäksi hanketta rahoittavat hankkeen kumppanit Etelä-Savon Energia Oy, Schneider Electric Finland Oy ja Green Energy Finland Oy.

# MONIMUOTOISET METSÄT (MOMET) -HANKE

Rauno Kousa

Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu välittää metsänomistajille ja alan toimijoille tietoa monipuolisista metsänkäsittelyn vaihtoehdoista Monimuotoiset metsät -hankkeella. Hankkeen tavoitteena on tiedonvälityksen keinoin lisätä tietoutta metsänkäyttömuotojen monipuolisuudesta. Hanke toteutetaan tiedonvälityshankkeena. Hankkeen tavoitteena on lisätä metsänomistajien tietoutta vaihtoehtoisista metsänkäsittelymenetelmistä ja metsien monimuotoisuudesta. Lisäksi hankkeessa välitetään tietoa jatkuvan kasvatuksen hoitotöiden ja hakkuiden toteuttamisesta. Tiedonvälitystilaisuuksiin on osallistunut hankkeen aikana 452 henkilöä eri ammattiryhmistä. Hankkeessa lisätään metsien hoidon monimuotoisuus- ja ympäristötietoutta. Vapaaehtoisten suojeluohjelmien kiinnostavuus metsänomistajien keskuudessa on nousemassa, ja luonnonhoitoon ja ympäristönsuojeluun löytyy hyvin käyttökelpoisia työkaluja. Hanketta rahoittaa Euroopan maaseudun kehittämisen maatalousrahasto.

## METSÄKANALINTUJEN ELINYMPÄRISTÖJEN MUUTOKSET SUOMESSA

Metson, teeren, paikoin pyyn ja havumetsävyöhykkeen riekon kannat ovat vähentyneet huomattavasti viime vuosikymmeninä. Yhtenä syynä kantojen vähenemiseen pidetään metsien rakenteen muutosta suorine ja välillisine vaikutuksineen. Todennäköisesti suurimmat vaikutukset johtuvat metsien pirstoutumisesta, soiden metsäojituksesta ja muusta elinympäristöjen laadun heikkenemisestä (kuva 1). Metsäkanalintujen selviytymisongelmat ajoittuvat yleensä lisääntymiskauteen. Siksi niiden kannanhoidossa on kyse ennen kaikkea lisääntymisaikaisten elinympäristöjen hoidosta.



*Kuva 1. Ojitettu suo 1960-luvulta, Kangasniemi (kuva Rauno Kousa).*

Metsien kehityksessä on nähtävissä metsäkanalintujen kannalta useita positiivisia piirteitä, jotka mahdollistavat varteenotettavia hoitotoimia. 1950- ja 1960-luvuilla syntyneiden suurten metsäikäluokkien varttuminen varsinkin Pohjois-Suomessa lisäävät metsäpeitteisyyttä ja puuston järeyttä. Metsäisyyden lisääntyminen hyödyttää erityisesti metsoa ja pyytä. Kasvatusmetsävaiheeseen on varttunut myös suuri määrä suometsiä, joissa on luontaisesti metsäkanalinnuille suotuisaa rakenteellista vaihtelua.

Metsikkötasolla metsäkanalintujen kannalta keskeiset ongelmat nykyisessä metsänkasvatuksessa liittyvät pensas- ja kenttäkerrokseen (kuva 2). Vaikka eri lajien vaatimukset poikkeavat toisistaan jonkin verran, yhteiseksi tavoitekuvaksi elinympäristöjen hoidossa käy rakenteeltaan vaihteleva sekametsä, jossa on alikasvosta ja runsas varvusto. Tavoiteltavia rakennepiirteitä ovat muun muassa puuston ja pensaskerroksen koko-, tiheys- ja puulajivaihtelu sekä aukkoisuus.



**Kuva 2.** Männikön harvennus 2016, Ristiina (kuva Rauno Kousa).

Nopein tapa saada aikaan tuloksia on parantaa kasvatusmetsien soveltuvuutta metsäkanalinnuille, koska taimikonhoidon, ensiharvennusten ja muiden kasvatushakkuiden vuotuinen kokonaispinta-ala on suuri. Metsänkäsittelyn ohjenuoraksi sopii ”hallittu hoitamattomuus”. Kustannustehokkain tulos saavutetaan raivaamalla vain ainespuun runkojen tyvet metrin säteellä ja muu hakkuuta haittaava alikasvos.

Ehdottomasti paras alikasvospuu on kuusi tai sen puuttuessa koivu. Kasvatettavan puuston koko-, puulaji- ja tiheysvaihtelusta on huolehdittava metsikön uudistamisesta lähtien. Uudistusalalle jätetään mahdollisessa uudistusalan raivauksessa kasvatuskelpoiset nuoret taimet sekä uudistamista haittaamattomat kuusialikasvostaimet (kuva 3).



*Kuva 3. Taimikonhoidossa säästetty kuusi alikasvos 2016, Mäntyharju (kuva Rauno Kousa).*

Hakkuualalle jätetään myös muutama riistatiheikkö, jonka koko voi vaihdella muutamasta alikasvoskuusen ryhmästä aarin kokoiseen laikkuun. Riistatiheikköinä voivat toimia säästöpuuryhmät sekä suon ja kankaan vaihtumisvyöhykkeet. Luontevia tiheikön sijoituspaikkoja ovat pienet soistumat, kallioiden laiteet ja muut reuna-alueet. Alikasvos ja riistatiheiköt parantavat merkittävästi metsäkanalintujen pesien säilymistä ja tarjoavat suojaa sekä poikueille että aikuisille metsäkanalinnuille.

Mustikalla elävät hyönteiset, varsinkin toukat, ovat välttämättömiä poikasten kasvulle niiden ensimmäisinä elinviikkoina (kuva 4). Mustikka ja muut varvut sekä niiden marjat ovat tärkeää ravintoa myös aikuisille metsäkanalinnuille. Valtakunnan metsien inventointien mukaan mustikan ja useimpien muiden varpujen keskipeittävyys väheni merkittävästi erityisesti 1950-luvulta 1980-luvulle. Mustikanvarvusto ei juuri säily avohakkuussa, mikä johtuu pienilmaston muutoksesta sekä tuoreilla kasvupaikoilla heinien ja ruohojen voimakkaasta kilpailusta. Lisäksi kantojen korjuu ja maanmuokkaus rikkovat maavarsistoa, jonka avulla mustikka pääasiassa lisääntyy. Mustikanvarvikon elpyminen vie jopa kymmeniä vuosia. Kantoja korjataan etenkin kuusikoiden uudistusaloilta, jolloin maanpinta rikkoutuu voimakkaasti. Osa tuoreista kannoista jätetään kuitenkin paikoilleen monimuotoisuutta ylläpitäviksi säästökannoiksi. Säästöpuuryhmissä ei maata muokata, joten niiden avulla turvataan myös varvuston säilyminen.



*Kuva 4. Metsäkanalinnuille tärkeää mustikkaa 2016, Ristiina (kuva Rauno Kousa).*

Säästöpuuryhmien valinnassa suositaan mahdollisuuksien mukaan runsasvarpuisia maastonkohtia, joiden puusto saa olla metsätaloudellisesti vähäarvoista. Yksi iso säästöpuuryhmä hakkuualalla on metsäkanalintujen kannalta parempi kuin monta pientä. Varvuston elpymistä joudutetaan jättämällä säästökantoja ryhmiin.

Koska mustikan maavarret säilyvät koskemattomissa maankohdissa paremmin kuin muokatuissa, ne leviävät nopeammin, kun koko uudistusala ei muokata. Mikäli uudistaminen edellyttää maanmuokkausta, siinä käytetään mahdollisimman keveitä, varvustoa säästäviä menetelmiä. Muokkaus jätetään tekemättä, jos kehityskelpoista taimiainesta on riittävästi ja se voidaan säästää. Pienialaisiin soistuneisiin painanteisiin voidaan uudistushakkuissa ja raivauksessa jättää vähäarvoista puustoa riistatiheiköiksi. Vuotta nuoremmat hakkuualat muokataan kanalintujen pesinnän takia vasta juhannuksen jälkeen. Jos uudistusala kuloteetaan tai muokataan hakkuun jälkeisenä keväänä ennen juhannusta, pyritään uudistusalalla olevat kanalintujen pesät paikantamaan ja säästämään.

Tehokkain keino varvuston turvaamiseksi on tehdä taimikonhoitotyöt ja ennen kaikkea kasvatushakkuut ajallaan. Puuston harventaminen lisää kenttäkerrokseen tulevan valon määrää, jolloin varpujen elpyminen nopeutuu. Metsäkanalintujen, erityisesti metson, elinympäristöissä metsää voidaan kasvattaa myös erirakenteisena käyttämällä erityishakkuita.





*Kuva 5. Metso hiihtoladulla talvella 2017, Kittilä (kuva Rauno Kousa).*

## **METSÄKANALINTUJEN ELINYMPÄRISTÖJEN HOIDON TAVOITTEITA**

Kankaan ja ojittamattoman vähäpuustoisien suon vaihtumisvyöhykkeet sekä korvet ovat metsäkanalintujen (kuva 5) parhaita poikueympäristöjä, ja myös aikuiset suosivat niitä varsinkin kesäaikaan. Hakkuissa säästetään vaihtumisvyöhykkeiden turvemaalla kasvava puusto. Luonnontilaiset vaihtumisvyöhykkeet ovat metsäojituksen takia harvinaistuneet merkittävästi. Niinpä ne tulisi pyrkiä säilyttämään mahdollisimman luonnontilaisina tai palauttamaan sellaisiksi.

Luonnontilaisia soita reunustavat kangasmaiden vesitalouden parantamiseksi kaivetut ojat jätetään perkaamatta tai tukitaan, jos kangasmaan vesitalouden hoito ei sitä enää edellytä. Myös ojitettuja korpia on mahdollista palauttaa luonnontilaan.

Korpia voidaan ennallistaa esimerkiksi kunnostusojituksen tai uudistusalan vesitalouden järjestelyn yhteydessä ojia patoamalla (kuva 6). Metsäojat heikentävät metsäkanalintujen poikastuottoa, mikä osaksi johtunee kohonneesta saalistuspaineesta ojitetuilla alueilla. Ojalinjat saattavat helpottaa petolintujen saaliinetsintää. Kunnostusojituksessa voidaan katkaista näkymä ojalinjaa pitkin esimerkiksi jättämällä tiheäpuustoisia nipistyskohtia.



***Kuva 6.** 1960-luvulla ojitettu suo ennallistettu ojat tukkimalla 2015, Kouvola (kuva Rauno Kousa).*

# HYVÄ HALLITUSTYÖ METSÄNHOITOYHDISTYKSISSÄ

Pasi Pakkala

Metsäalan organisaatiot elävät kenties historiansa nopeimmassa muutoksessa. Muutoksia tuovat muun muassa metsänomistajakunnan rakennemuutos ja koulutustason nousu, digitalisaatio ja tietojärjestelmien kehittyminen, organisaatioiden muutokset sekä myynnillisyyden ja kilpailun lisääntyminen.

Metsänhoitoyhdistykset ovat läpikäyneet viime vuosikymmenen aikana fuusioita useassa eri aallossa – fuusioita ja fuusioiden fuusioita. Tämä on nopeasti muuttanut organisaatioiden toimintamalleja ja johtamisen käytäntöjä. Pienistä yhden pitäjän työyhteisöistä on kasvanut monimutkaisia, laajan palvelutarjonnan omaavia asiantuntijaorganisaatioita. Tämä tilanne on uusi paitsi organisaatiolle ja johtamiselle myös luottamushenkilöille. Luottamushenkilöt ja erityisesti hallitukset tarvitsevat uudessa tilanteessa sekä asenteellista että tiedollista valmennusta ja koulutusta. (mm. Pakkala 2014)

Metsänhoitoyhdistysten lukumäärä on laskenut alle 80:aan. Isommat organisaatiot ovat tuoneet mukaan suuremmat vastuut. Isojen yhdistysten liikevaihto on yli 10 miljoonaa euroa, ja ne työllistävät suoraan lähes 100 henkilöä (toimihenkilöt ja metsurit) ja välillisesti saman verran lisää. Vuonna 2015 toimihenkilöitä oli 1 045 ja metsureita 1 349. Yhteensä työsuhteisia henkilöitä oli 2 394. Maksettuja palkkoja oli yhteensä yli 60 miljoonaa euroa ja urakointimaksuja yli 150 miljoonaa euroa. Puunkorjuuta on viime vuosina ollut 7–8 miljoonaa kuutiometriä, josta kaukokuljetetaan lähes kolme miljoonaa. (Immonen 2016)

Yhdistysmuotoisena toimittaessa hallitustoiminnan kehittäminen jää helposti vähemmälle. Istutaan rekisteröidyn yhdistyksen hallituksessa, mutta toiminnassa on kaksi puolta: yhdistystoiminta ja liiketoiminta. Valtaosa toiminnasta, vastuista, riskeistä ja tuloksista on liiketoiminnassa. Yleisesti yritystoiminnassa hallituksen tehtävinä voidaan pitää yhtiön hallinnon ja toiminnan asianmukaista järjestämistä. Tämä toteutuu määrittelemällä yhtiön tavoitteet (strategia) ja riskienhallinnan periaatteet, ohjaamalla ja valvomalla johtoa ja strategian toteutusta sekä huolehtimalla taloudellisesta valvonnasta. Lisäksi hallitusten jäsenten tehtävänä on edistää yhtiön etua riippumatta siitä, mikä taho heidät on nimennyt hallituksen jäsenhokkeiksi. Tämä vastannee tilannetta myös metsänhoitoyhdistyksen hallituksissa. (mm. Keskuskauppakamari 2016, Erma ym. 2015, Hyvän hallinnon opas metsähoitoyhdistyksille 2016) Toisaalta voidaan myös todeta, että yrityksen hallituksessa vastuut ovat suuremmat kuin yrityksen hallituksessa.

Strategiatyöskentelyssä voitaneen erottaa kaksi eri näkökulmaa: omistajastrategia ja liiketoimintastrategia. Näistä omistajastrategia on perinteisesti ollut metsänhoitoyhdistyksissä enemmän esillä, mutta muuttunut metsänhoitoyhdistyksen toimintaympäristö ja sisäiset prosessit korostavat liiketoimintastrategian merkitystä. Muuttuneessa tilanteessa yhdistysten hallitusten toiminnan ja hallitustyöskentelyn kehittäminen ja kehittyminen on välttämätöntä. Toki kehitystyössä on muistettava myös yhdistystoiminnan mukanaan tuomat erityispiirteet: valtuusto ja sen ylin päätösvalta, hallituksen jäsenen rooli myös jäsenenä ja asiakkaana sekä edunvalvonta.

Tämä julkaisu liittyy metsänhoitoyhdistysten hallituksille tehtyyn kehittämiskyselyyn. Kehittämiskysely on jatkumo Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulussa viimeisen 15 vuoden aikana tehtyyn metsänhoitoyhdistysten kehittämistyöhön. Tavoitteena on nostaa luottamustoimien profilia ja merkitystä sekä tuoda ajatuksia luottamusmiesshallinnon kehittämiseksi.

## **TOTEUTUS JA AINEISTO**

Tämän työn tavoitteena on kehittää metsänhoitoyhdistysten hallitusten työskentelyä. Työhön liittyvä kysely toteutettiin loppuvuonna 2016, ja sen tavoitteena oli luodata päättyvän valtuustokauden hallituksen toimintaa. Kehittämiskysely suunnattiin päättyvän valtuustokauden hallitusten puheenjohtajille, hallitusten jäsenille ja toiminnanjohtajille. Kysely jaettiin viiteen osaan:

- Hallituksen kokoonpanon arviointi menneellä hallituskaudella.
- Hallituksen kokoustyöskentelyn arviointi.
- Hallitustyöskentelyn arviointi.
- Hallituksen ja toimivan johdon välisen suhteen arviointi.
- Vastaaajan taustatiedot.

Kyselyssä käytettiin kuusiportaista asteikkoa (1–6): täysin eri mieltä – täysin samaa mieltä. Lisäksi jokaisen osan jälkeen oli vapaa sana. Kysely toteutettiin Webropolissa. Kysely lähetettiin Yksityismetsätalouden työnantajien sähköpostin kautta kaikille yhdistysten puheenjohtajille ja toiminnanjohtajille.

Tulosten laskennassa tuotettiin yhteenveto tuloksista. Yhteenveto tehtiin koko aineistosta sekä yhdistyksiä vertaillen (mm. liikevaihto, toimihenkilömäärä). Laskennassa käytettiin SPSS-tilasto-ohjelmistoa. Vapaan sanan kehittämisehdotukset luokiteltiin ja ryhmiteltiin käsin.

Määräaikaan mennessä vastasi 67 henkilöä kaikkiaan 30 metsänhoitoyhdistyksestä. Vastaaajista 23 oli hallituksen puheenjohtajia, 11 hallituksen jäseniä, 28 toiminnanjohtajia ja 4 johdon muita jäseniä. Koska johdon muita jäseniä oli vähän, heidän tuloksiaan ei käsitellä

työssä. Yhdistykset sijaitsivat kattavasti Lapin läänin eteläpuolisella alueella. Osallistuneiden yhdistysten perustiedot löytyvät taulukosta 1.

**Taulukko 1.** Mukana olevien yhdistysten perustiedot.

	keskiarvo	mediaani
liikevaihto (miljoona euroa)	6,2	3,9
toimihenkilömäärä	24	19
hallituksen koko	7	7

## TULOKSET

### YHTEISTULOKSET

Yhteistuloksien mukaan hallituksen toimintaan oltiin melko tyytyväisiä. Heikoimman itsearvion sai hallituksen kokoonpano. Keskiarvojen valossa hallitusten puheenjohtajat olivat hieman tyytyväisempiä hallituksen toimintaan kuin hallitusten jäsenet ja toiminnanjohtajat (taulukko 2).

**Taulukko 2.** Kyselyn osien keskiarvot vastaajaryhmittäin. Asteikko: 1 = täysin eri mieltä, 6 = täysin samaa mieltä. Mitä isompi keskiarvo, sitä onnistuneempaa toimintaa pidetään.

	keskiarvo	puheenjohtaja	hallituksen jäsen	toiminnanjohtaja
Hallituksen kokoonpano menneellä hallituskaudella	4,6	5,0	4,6	4,6
Hallituksen kokoustyöskentely menneellä hallituskaudella	4,5	4,7	4,7	4,5
Hallitustyöskentely menneellä hallituskaudella	4,7	5,0	4,5	4,6
Hallituksen ja toimivan johdon väliset suhteet menneellä hallituskaudella	5,1	5,3	4,9	5,1

### HALLITUKSEN KOKOONPANO

Hallituksen kokoonpanon väitteiden keskiarvosta ei yksikään poikennut merkittävästi kohdan yhteisestä keskiarvosta. Eri vastaajaryhmiä tarkasteltaessa voidaan havaita hallitusten jäsenten ja toiminnanjohtajien suurempi kriittisyys. Erityisesti seuraavissa väitteissä vastaajaryhmien välillä oli eroja eli hallituksen puheenjohtajien käsitys asioista oli selkeästi positiivisempi kuin toiminnanjohtajien (taulukko 3):

Hallituksen jäsenien valinta on perustunut yhdistyksen tarpeisiin ja menestyksen varmistamiseen.

- Hallituksen jäsenien valinnassa otettu huomioon jäsenien sidokset yhdistyksen kilpailijoihin tai liiketoimintakumppaneihin (jääviyskysymykset).
- Hallituksen koko on ollut sopiva tehokkaan ja hyvän hallinnon toteuttamiseksi.
- Hallituksen jäsenet ovat käyttäytymisellään osoittaneet sitoutuneisuutta yhdistyksen toimintaan (mm. palvelujen käyttö ja lojaalisuus yhdistystä kohtaan).

Vapaan sanan kehittämisideat tukivat edellistä kohtaa. Näissä kommentteissa korostuivat hallituksen kokoon, osaamiseen, kokouksiin osallistumiseen ja valintaan liittyvät kehittämistarpeet (taulukko 4). Hallitustyöskentelyn tehostamista toivottiin: pienempää hallitusta, pätevyyttä sekä kaikkien jäsenten osallistumista ja työskentelyä.

**Taulukko 3.** Hallituksen kokoonpanon tulokset vastaajaryhmittäin, asteikko: 1 = täysin eri mieltä, 6 = täysin samaa mieltä.

HALLITUKSEN KOKOONPANO	Keskiarvo	Pj	Jäsen	tj
Hallituksen jäsenien valinta on perustunut yhdistyksen tarpeisiin ja menestyksen varmistamiseen.	4,5	5	4,7	4,4
Hallituksen jäsenien valinnassa on otettu huomioon jäsenien sidokset yhdistyksen kilpailijoihin tai liiketoimintakumppaneihin (jääviyskysymykset).	4,9	5,4	4,2	5,1
Hallituksen koko on ollut sopiva tehokkaan ja hyvän hallinnon toteuttamiseksi.	5	5,6	5	4,7
Hallituksen jäsenet ovat käyttäytymisellään osoittaneet sitoutuneisuutta yhdistyksen toimintaan (mm. palvelujen käyttö ja lojaalisuus yhdistystä kohtaan).	4,5	5,1	4,6	4,3
Hallituksen kokoonpano on kattanut yhdistyksen toiminnan menestyksen kannalta tärkeimmät osaamisalueet.	4,4	4,9	4,5	4,3
Hallituksen kokoonpano on ollut riittävän monipuolinen (erilaista toisiaan täydentävää osaamista, ikä- ja sukupuolirakenne).	4,3	4,4	4,8	4,5
Hallituksen jäsenillä on ollut riittävästi aikaa hallitustehtävien hoitamiseen muiden toimiensa ohella.	4,5	4,5	4,6	4,6
Hallituksen jäsenien asenne on ollut yhteistyökykyinen, itsenäinen ja kriittinen.	5	5,3	4,5	5
Hallituksessa toiminta on ollut tasapainoista (ei liian dominoivia tai hiljaisia jäseniä).	4,6	4,8	4,6	4,5
<b>KESKIARVO</b>	<b>4,6</b>			

**Taulukko 4.** Vapaassa sanassa esitetyt hallituksen kokoonpanon yleisimmät kehittämistarpeet.

	Havainnot
Pienempi, kaikki töihin	9
Ammattimaisempi, liiketoiminta- ja hallitusosaamista lisää	8
Ei alueellista edustavuutta, vaan pätevyys	6
Heterogeenisempi hallitus olisi parempi, monipuolisempi tausta tarpeen	5
Nuoria enemmän	3
Sitoutuminen ollut huippuluokkaa, toimiva jo nyt	3
Keskustelut vain muutaman henkilön välillä	3
Naisia enemmän	2
Valintalautakunta saatava	2

## KOKOUSTYÖSKENTELY

Kokoustyöskentelyn perusteet ovat hallitusten mielestä kunnossa: kokoukset ovat tehokkaita ja materiaali on jaossa riittävästi ennakoon. Toisaalta huomio kiinnittyy työjärjestyksen ja vuosikellon puuttumiseen, mikä voi osaltaan heikentää tavoitteellista työskentelyä. Hallitus-työskentelyn tarkastelun tarve tuli esille myös vapaan sanan kommentteissa (taulukko 5 ja 6).

**Taulukko 5.** Hallituksen kokoustyöskentelyn tulokset vastaajaryhmittäin, asteikko: 1 = täysin eri mieltä, 6 = täysin samaa mieltä.

HALLITUKSEN KOKOUSTYÖSKENTELY	Keski-arvo	pj	Jäsen	tj
Hallituksella on ollut kirjallinen työjärjestys, joka määrittelee hallituksen toiminnan.	4,3	4,3	4,9	4,2
Hallituksen jäsenet ovat saaneet tarpeeksi ajoissa ennen kokousta esityslistan ja muun tarvittavan materiaalin.	5	5,2	4,6	5,3
Hallituksen jäsenet ovat osallistuneet kokouksiin riittävästi ja hyvin valmistautuneina.	4,9	4,9	4,8	5
Hallituksella on ollut tehokkaat kokouskäytännöt.	4,8	5,1	4,8	4,8
Hallituksella on ollut käytössään vuosikello toimintansa vuosisuunnittelua varten.	3,5	3,9	4,2	3
<b>KESKIARVO</b>	<b>4,5</b>			

**Taulukko 6.** Vapaassa sanassa esitetyt hallituksen kokoustyöskentelyn yleisimmät kehittämistarpeet.

	Havainnot
Luotettava vuosikello	7
Asiatiedot aiemmin ennen kokousta	5
Kokoukset toimivat hyvin	3
Tehostettava, liikaa asioita ja liikaa päättäjiä	3

## HALLITUSTYÖSKENTELY

Kaikkiaan hallitustyöskentely sai hyviä arvioita; keskiarvo oli kyselyn toiseksi korkein 4,7. Parhaimmat arviot hallitukset antoivat taloudellisten asioiden valvonnalle, ilmapiirille ja päätöksenteolle (taulukko 7):

- Hallituksen jäsenet ovat seuranneet säännöllisesti yhdistyksen myyntikatteen ja maksuvalmiuden kehittymistä.
- Hallitus on varmistanut yhdistyksen varallisuuden sijoittamisen turvallisesti ja tuottavasti.
- Hallituksen kokouksissa on vallinnut hyvä ilmapiiri ja hallituksen jäsenet ovat keskittyneet kokouksen asioihin.
- Hallitus on kyennyt päätöksentekoon.
- Taloudellinen raportointi hallitukselle on hoidettu riittävän monipuolisesti.

Hallitusten mielestä parannettavaa oli strategisessa suunnittelussa, oman toiminnan arvioinnissa sekä uusiutumisessa:

- Hallitus on laatinut selkeän liiketoimintastrategian osaksi yhdistyksen strategiaa.
- Hallitus on arvioinut itse tai ulkopuolisen toimesta omaa toimintaansa toimikauden aikana.
- Hallitus on uusiutunut riittävästi uusien ajatusten saamiseksi ja osaamisen päivittämiseksi.

Näistä toiminnan arviointi ja uusiutuminen saivat koko tutkimuksen heikoimmat arviot.

Edellisten huomioiden lisäksi hallitus toivoi koulutusta enemmän. Tämä tuli erityisesti esille vapaan sanan kommentteissa. Lisäksi vapaassa sanassa toivottiin lisää yhteisöllisyyttä sekä parempaa sitoutumista yhdistyksen toimintaan (taulukko 8).



**Taulukko 7.** Hallitustyöskentelyn tulokset vastaajaryhmittäin, asteikko: 1 = täysin eri mieltä, 6 = täysin samaa mieltä.

HALLITUSTYÖSKENTELEY	Keskiarvo	pj	jäsen	tj
Hallituksen (uudet) jäsenet on perehdytetty riittävän hyvin tehtäviinsä.	4,5	4,7	4,4	4,6
Hallitus on tunnistanut jäsenien tavoitteita osaksi yhdistyksen strategiaa.	4,6	5	4,3	4,7
Hallitus on laatinut selkeän liiketoimintastrategian osaksi yhdistyksen strategiaa.	4,1	4,6	4,3	3,9
Hallitus on valvonut strategian ja toimitasuunnitelman toteuttamista.	4,5	4,8	4,2	4,6
Hallitus on keskittynyt kokouksissaan tulevaisuuteen ja riittävän merkittäviin asioihin (strategia ja sen toteutuminen, uudet mahdollisuudet ja markkinatiedot, markkinointi ja myynti, henkilöstö).	4,4	4,9	4,2	4,3
Hallitus on tietoinen yhdistyksen suorituskyvystä ja osaamisesta (organisaatio, henkilöstö, teknologia).	4,9	5	4,6	5,1
Hallitus on analysoinut riittävästi yhdistyksen toimintaan liittyviä riskejä.	4,6	5	4,5	4,7
Taloudellinen raportointi hallitukselle on hoidettu riittävän monipuolisesti.	5	5,4	4,9	5
Hallituksen jäsenet ovat ymmärtäneet riittävästi taloudellista raportointia.	4,6	4,9	4,3	4,8
Hallituksen jäsenet ovat seuranneet säännöllisesti yhdistyksen myyntikatteiden ja maksuvalmiuden kehittymistä.	4,9	5,3	5	4,8
Hallitus on varmistanut yhdistyksen varallisuuden sijoittamisen turvallisesti ja tuottavasti.	5,3	5,4	5,2	5,4
Hallituksen kokouksissa on vallinnut hyvä ilmapiiri ja hallituksen jäsenet ovat keskittyneet kokouksen asioihin.	5,4	5,7	5,1	5,5
Hallitus on kyennyt päätöksentekoon.	5,7	5,9	5,5	5,6
Hallitus on arvioinut itse tai ulkopuolisen toimesta omaa toimintaansa toimikauden aikana.	3,6	4,3	3,5	3,1
Hallitus on uusiutunut riittävästi uusien ajatusten saamiseksi ja osaamisen päivittämiseksi.	3,9	4,5	4	3,7
Hallituksen jäsenet ovat ymmärtäneet edustavansa yhdistystä myös varsinaisen hallitustyöskentelyn ulkopuolella	4,6	4,9	4,5	4,5
<b>KESKIARVO</b>	<b>4,7</b>			

**Taulukko 8.** Vapaassa sanassa esitetyt yleisimmät hallitustyöskentelyn kehittämistarpeet.

	Havainnot
Hallitusta pitäisi kouluttaa enemmän	7
Strategian toteutusta seurattava paremmin	6
Lyhyempiä kokouksia, useammin eri teemojen ympärille	3
Yhteisöllisyyttä myös kokousten ulkopuolella	3
Kehitettävä itsearviointia	3
Parempi sitoutuminen mhy:n toimintaan	3
Edustaa yhdistystä myös kokousten välillä	3
Enemmän tiedonvälitystä hallitukselle	2

## HALLITUKSEN JA TOIMIVAN JOHDON SUHTEET

Hallituksen ja toimivan johdon suhteet ovat erinomaisella tasolla. Suhteita luotaavissa kysymyksissä eivät vastaajaryhmien vastaukset poikenneet toisistaan. Kehitettävää on lähinnä johdon rakenteen ja seuraajakysymysten pohdinnassa (taulukko 9 ja 10).

**Taulukko 9.** Hallituksen ja toiminnanjohtajan välisten suhteiden tulokset vastaajaryhmittäin, asteikko: 1 = täysin eri mieltä, 6 = täysin samaa mieltä.

HALLITUS JA TOIMINNANJOHTAJA/ TOIMIVA JOHTO	Keski- arvo	pj	jäsen	tj
Tiedonkulku hallituksen ja toiminnanjohtajan/toimivan johdon välillä on ollut riittävää.	5,3	5,4	5,1	5,4
Hallituksen ja toiminnanjohtajan/toimivan johdon yhteistyö on ollut tasapainoista.	5,4	5,5	5,1	5,6
Toiminnanjohtajan/toimivan johdon ja hallituksen välinen tehtävänjako on ollut selkeää.	5,4	5,5	5,1	5,6
Toiminnanjohtaja/toimiva johto on saanut riittävästi tukea työhönsä hallitukselta.	5,2	5,4	5	5,1
Hallitus on haastanut riittävästi toiminnanjohtajaa/toimivaa johtoa ja sen oletuksia toiminnan kehittämiseksi.	4,8	5,1	4,7	4,8
Hallitus on valvonut riittävästi toiminnanjohtajan/toimivan johdon työtä ja tuloksia.	5	5,3	4,7	5,1
Hallitus on pohtinut riittävästi ylimmän johdon rakennetta ja seuraajakysymyksiä.	4,4	4,7	4,4	4,4
<b>KESKIARVO</b>	<b>5,1</b>			

**Taulukko 10.** Vapaassa sanassa esitetyt yleisimmät hallituksen ja johdon suhteiden kehittämistarpeet.

	Havaintoja
Vuorovaikutus toimii melko hyvin/on kiitettävää	4
Vuosittainen näiden asioiden kehittämispalaveri tarpeen	3
Kuukausipalaveri	2

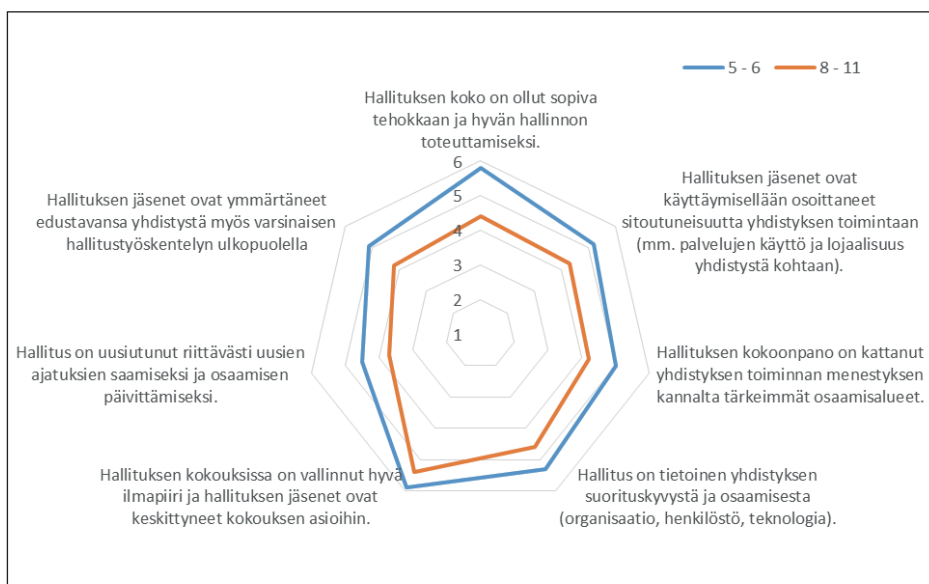
## HALLITUKSEN KOON MERKITYS

Yleisesti hallituksen koko vaikutti hallituksen tyytyväisyyteen itseensä ja toimintaansa. Hallituksen koon merkitystä vertailtiin jakamalla hallitusten koot kolmeen ryhmään: pienet hallitukset 5–6, keskiarvo ja mediaani 7 ja isot hallitukset 8–11 jäsentä. Näistä verrattiin pieniä ja isoja hallituksia keskenään. Pienet hallitukset olivat tyytyväisempiä kokoonpanoonsa. Erityisesti pienet hallitukset olivat isompia tyytyväisempiä hallitusten kokoonpanoon ja hallitustyöskentelyyn. Kokoustyöskentely hallituksen ja johdon suhteen olivat samalla tasolla riippumatta hallituksen koosta (taulukko 11).

**Taulukko 11.** Hallituksen koon merkitys kyselyn osien keski-arvoihin, asteikko: 1 = täysin eri mieltä, 6 = täysin samaa mieltä. Mitä isompi keskiarvo, sitä onnistuneempaa toimintaa pidetään.

	hallituksen koko, henkilöä	
	5-6	8-11
Hallituksen kokoonpano menneellä hallituskaudella	5,1	4,5
Hallituksen kokoustyöskentely menneellä hallituskaudella	4,6	4,7
Hallitustyöskentely menneellä hallituskaudella	4,9	4,6
Hallituksen ja toimivan johdon väliset suhteet menneellä hallituskaudella	5,3	5,2

Tarkasteltaessa yksittäisiä väitteitä pienempi hallitus oli hallitusten itsensä mielestä tehokkaampi, sitoutuneempi, osaavampi sekä paremmin tietoinen yhdistyksen toiminnasta. Lisäksi pienemmät hallitukset antoivat itselleen paremman arvion ilmapiiristä (kuva 1).



**Kuva 1.** Pienet hallitukset olivat tyytyväisempi toimintaansa kuin isot. Tilastollisesti merkittävät erot,  $t$ -testi,  $p = 0,000-0,038$ . Ryhmät: hallituksen koko 5–6 ja 8–11 henkilöä. Asteikko: 1 = täysin eri mieltä, 6 = täysin samaa mieltä.

Yhdistyksen koko korreloi voimakkaasti hallituksen koon kanssa. Hallituksen koko kasvoi yhdistyksen koon kasvaessa (Pearson-korrelaatio: 0,541,  $p = 0,000$ ). Yhdistyksen liikevaihdon ollessa alle kolme miljoonaa oli hallituksen keskikoko 6,4 henkilöä, 3–9 miljoonaa 6,9 henkilöä ja yli 9 miljoonaa 8,5 henkilöä. Erityisesti liikevaihdoltaan yli yhdeksän miljoonan yhdistykset olivat tyytymättömiä hallituksen kokoon ja kokoonpanoon: hallitustyöskentelyn tehokkuudessa ja hallituksen jäsenten osaamisessa ja monipuolisuudessa on kehittämistä.

## TULOSTEN TARKASTELU

### TUTKIMUKSEN LUOTETTAVUUS

Tähän tutkimukseen osallistui 30 metsänhoitoyhdistystä, mikä on 42 prosenttia Suomen metsänhoitoyhdistyksistä. Vastanneiden yhdistysten kokojakauma vastasi yhdistysten valtakunnallista jakaumaa. Vastaajia oli 67, joista hallituksen puheenjohtajia oli 23, hallituksen jäseniä 11 ja toiminnanjohtajia 28. Yhdistysten yhteistuloksia sekä hallituksen puheenjohtajien ja toiminnanjohtajien vastauksia voidaan pitää luotettavina, mutta jäsenten vastausten määrä oli alhainen verrattuna jäsenten kokonaismäärään.

Vastaajat olivat täyttäneet lomakkeet täydellisesti. Myös vapaan sanan kehittämisehdotuksia oli kirjoitettu runsaasti. Kokonaisuutena tutkimusta voidaan pitää luotettavana vuonna 2016 päättyneen valtuustokauden hallitustyöskentelyn kuvauksena Lapin läänin eteläpuolella.

## HALLITUKSEN VASTUU ON TULEVAISUUS

Hallituksen päävastuut liittyvät strategisen suunnan määrittelyyn, suorituskyvyn turvaamiseen (strategian toteuttaminen), taloudelliseen valvontaan ja riskien hallintaan sekä johdon valintaan (Jaakola 2016). Hallituksella on vastuu kaikesta yhdistyksen toiminnasta: suunnitella, päättää ja seurata (Hyvän hallinnon opas metsänhoitoyhdistyksille 2016).

Tuloksissa hallitukset antoivat itselleen keskinkertaisen arvosanan tulevaisuuteen ja strategiseen suunnitteluun keskittyvissä väitteissä. Väitteiden arvosanojen vaihteluväli oli 4,1–4,6. Erityisesti liiketoiminnan näkökulmien huomioimista sekä strategiaan, strategian seurantaan ja riittävän merkittäviin asioihin keskittymistä on kehitettävä.

Hallituksen on pidettävä huolta, ettei sille tuoda liian pieniä asioita käsiteltäväksi. Tällöin tärkeät tai merkittävät asiat voivat hautautua pienen silpun alle tai jäädä ilman riittävää käsittelyä. Hallitusta kannustetaan käyttämään valtaosa ajastaan strategisiin ja kauaskantoisiin asioihin (Erma ym. 2015).

## TALOUDELLINEN VALVONTA TOIMII

Näyttää siltä, että hallitukset ovat ymmärtäneet tehtäväkseen taloudellisen valvonnan paremmin kuin strategisen suunnittelun tai strategian toteutuksen seurannan. Hallitukset olivat tyytyväisiä toiminnanjohtajan talouden raportointiin.

Missä määrin metsänhoitoyhdistyksen hallituksen on keskityttävä seuraamaan peruutuspeiliä? Operatiiviset asiat jätetään toiminnanjohtajalle ja toimivalle johdolle tai johtoryhmälle. Toiminnanjohtajan raportti kertoo talouden ydinasiat hallituksen haluamassa laajuudessa, mutta sen käsittely ei voi olla kokouksen pääasiallinen sisältö (Erma ym. 2015). Hallituksen on keskityttävä luotaamaan tulevaisuutta. Poikkeuksena näihin operatiivisiin asioihin puuttumisesta Erma ym. (2015) nostavat esimerkiksi kriisitilanteet. Tällöin voi hallituksen esityslistalle nousta hyvinkin operatiivisia asioita.

## PIENEMPI HALLITUS ON PAREMPI

Tähän tutkimukseen osallistuneiden metsänhoitoyhdistysten hallitusten koko vaihteli välillä 5–11 henkilöä. Keskiarvo ja mediaani olivat seitsemän henkilöä. Hallitusten oman arvion mukaan pienempi hallitus oli erityisesti kokoonpanon ja hallitustyöskentelyn kannalta parempi. Mikä on siis sopiva metsänhoitoyhdistyksen hallituksen koko?

Listamattomien yhtiöiden hallituksen koko ratkaistaan tapauskohtaisesti yhtiön tarpeiden ja lähtökohtien perusteella. Hallituksen kokoon vaikuttavat toiminnan laajuus ja omistuksen jakautuminen. (Keskuskauppakamari 2016) Osakeyhtiölaki (21.7.2006/624) määrittelee

osakeyhtiön hallituksen kooksi 1–5 varsinaista jäsentä, ellei yhtiöjärjestys muuta määrää. Myös Erma ym. (2015) painottavat yhtiön hallituksen sopivaa kokoa. Liian suuri hallitus voi olla vaikea saada kokoon, päätöksenteko liian aikaa vievää ja kaikki jäsenet eivät ehkä paneudu asioihin riittävästi.

Tässä tutkimuksessa pienin hallituksen koko oli viisi jäsentä. Tämän tutkimuksen valossa 5–6 hengen hallitukset olivat hallitusten itsensä mielestä parempia kuin isot 8–11 hengen hallitukset. Tällaiset 5–6 hengen hallitukset ovat siis ainakin tavoittelemisen arvoisia. Voisiko hallituksen koko olla pienempi kuin viisi? Miksi viisi on muodostunut minimikooksi? Voidaanko hallituksen yksittäisen jäsenen tuottamaa lisäarvoa yhdistykselle lisätä pienentämällä hallituksen kokoa? Ainakin tämän tutkimuksen mukaan pienet hallitukset olivat sitoutuneempia, osaavampia ja paremmin tietoisia yhdistyksen toiminnasta. Hallituksen jäsenten tarkempi valikoituminen on ilmeisesti johtanut parempaan lopputulokseen. Tässä valossa hallituksen koko voisi olla jopa alle viisi henkilöä.

Pienemmältä hallitukselta voidaan vaatia enemmän. Vaatimusten ja vastuiden kasvaessa myös hallitustyöskentely ammittaistuu. Hallituksen palkkioita kannattaa samalla tarkastaa. Usein sanottu linjaus hallituksen palkkioista on seuraava: puheenjohtaja 20 % toimitusjohtajan palkasta ja jäsen 10 % (Horttanainen 2016). Hyvä, motivoitunut ja vastuullinen hallitustyöskentely on palkitsemisen arvoista. Toisaalta, johtaako ammittaistuva hallitus ja hallitustyöskentely ”mhy:n hallitusammattilaisiin” ja sitä kautta vieraannuttaa yhdistystä, yhdistyksen toimintaa ja jäsenistöä toisistaan? Liiketoimintastrategia korostuu omistajastrategian kustannuksella.

## **HALLITUS MÄÄRITTELEE ITSE ITSENSÄ**

Hallitus määrittelee itse toimintatapansa. Pääosin kokous- ja hallitustyöskentelyyn oltiin tyytyväisiä. Toisaalta tätä tyytyväisyyttä rikkoo kokoustyöskentelyn osalta kirjallisen työjärjestyksen puutteet. Kirjallisessa työjärjestyksessä määritellään muun muassa töiden jako hallituksessa, hallituksen kokoontumisen pelisäännöt, varajäsenten rooli ja se, miten kutsut hoidetaan (Keskuskauppakamari 2016). Lisäksi työjärjestyksessä voidaan määritellä muiden kuin hallituksen jäsenten osallistuminen kokouksiin: johtoryhmän jäseniä, vastuuhenkilöitä (esim. tiimivetäjät) tai ulkopuolisia jäseniä.

Työjärjestystä jäntevöittämiin voidaan laatia hallitustyöskentelyn vuosikello. Vuosikellossa määritellään pakollisten budjetti- ja tilinpäätöskokousten lisäksi mahdolliset muut teemat. Tällaisia teemoja voivat olla strategiset asiat, tiimien esittelyt, tuotteisiin ja osaamiseen keskittyvät kokoukset, markkinointi ja viestintäteema tai jokin muu tärkeäksi katsottu teema.

Koska hallitus määrittelee itse itsensä, on tärkeää, että hallitukset ottavat laajemmin käyttöönsä oman toiminnan arvioinnin. Tällöin voidaan selvittää muun muassa hallituksen

sisäistä työnjakoa ja sen tehokkuutta, kunkin jäsenen panosta hallitustyöskentelyyn, hallituksen osaamista suhteessa strategiaan tai hallituksen jäsenten yleistä tyytyväisyyttä yhteiseen työskentelyyn. Lisäksi voidaan arvioida puheenjohtajan toimintaa, kokousten valmistelua ja kokoustyöskentelyä. (Keskuskauppakamari 2016)

Hallituksen oman toiminnan määrittelyssä puheenjohtajalla on tietysti johtava rooli. Tässä tutkimuksessa puheenjohtajat näkivät hallituksen toiminnan selkeästi positiivisemmassa valossa kuin toiminnanjohtajat tai hallituksen jäsenet. Suurimmat erot pääkohdissa olivat hallituksen kokoonpanon ja hallitustyöskentelyn kohdalla: 0,4 yksikköä. Erityisesti erot nousivat esille hallituksen jäsenten sitoutumisen ja hallituksen sopivan koon arvioinnin kohdalla. Lisäksi puheenjohtajien ja toiminnanjohtajien tulokset liitetoimintastrategian laatimisessa ja hallituksen uusiutumisessa poikkesivat merkittävästi toisistaan. Hallituksen puheenjohtajan on otettava selkeämmin hallituksen rakennetta, roolia ja työskentelyä kehittävä tai kyseenalaistava ote.

## **ISOJEN YHDISTYSTEN HALLITUKSISSA TYYTYMÄTTÖMYTTÄ**

Näyttää siltä, että metsänhoitoyhdistysten fuusioituessa hallitusten kokoja on kasvatettu. Osassa yhdistyksissä on käytössä alueelliseen edustavuuteen perustuvia vaalitapoja sekä hallituksen valintatapoja. Ehkä näin on pyritty turvaamaan maantieteellistä edustavuutta hallitukseen. Tämä ei ole tämän tutkimuksen mukaan johtanut tehokkaampaan tai tuloksekkaampaan hallitustyöskentelyyn, vaan päinvastoin. Isompien yhdistysten olisi otettava tiukempi ote hallituksen koon, kokoonpanon ja työskentelyn kehittämiseksi.

## **HALLITUKSEN VALINTAAN ON KIINNITETTÄVÄ HUOMIOTA**

Hallitusten jäsenten valintaan on kiinnitettävä huomiota. Tämän tutkimuksen tulokset tukevat Hyvän hallinnon opas metsänhoitoyhdistyksille (2016) -ohjeiden suosituksia:

- Hallituksen on oltava monipuolinen ja osaava.
- Nimitystoimikunta voisi olla toimiva ratkaisu valmistella hallituksen valintaa ja johtaa parempaan hallitukseen.
- Erovuoroisuusmenettelyllä annettaisiin ainakin mahdollisuus hallituksen uusiutumiseen.

## LÄHTEET

Erma Juhani, Rasila Tommi ja Virtanen Olli V. 2015. Hyvä hallitustyö. Kauppakamari.

Horttanainen Anne. 2016. Corporate Governance – omistajat, hallitus ja johto. Luento 5.10.2016.

Hyvän hallinnon opas metsähoitoyhdistyksille 2016. MTK ry ja Pellervoinstituutti.

Immonen Kari 2016. Sähköposti. Toiminnanjohtaja, Yksityismetsätalouden työnantajat ry.

Jaakola Matti 2016. Hallitus PK-yrityksessä. Luento 12.10.2016.

Keskuskauppakamari 2016. Asialuettelo listaamattomien yhtiöiden hallinnoinnin kehittämiseksi.

Osakeyhtiölaki 21.7.2006/624.

Pakkala Pasi 2014. Liiketoimintaa ja edunvalvontaa - Näkökulmia työhyvinvointiin metsähoitoyhdistyksissä. 52 s. [8] s. : kuv., taul. ; 25 cm. Julkaistu: Mikkeli : Mikkelin ammattikorkeakoulu, 2014. Sarja: Tutkimuksia ja raportteja / Mikkelin ammattikorkeakoulu 1795-9438 ; 87.



# ENERGIASELVITYKSET ECOOOL-HANKKEESSA

Erja Tuliniemi & Lauri Heikkilä

Ecool-hankkeen tavoitteena on luoda toimintamalleja ja ohjeistuksia energiatehokkuuden edistämiseksi vaativaa LVIS-tekniikkaa sisältävissä kohteissa. Mallin perustana ovat energiankäytön nykytilan selvitykset, joista tämä artikkeli on lyhennelmä. Selvitykset on toteutettu hankkeen kumppaneiden kohteissa Motivan kiinteistön energiakatselmusmallin mukaisesti. Osa ehdotetuista säästötoimenpiteistä on jo toteutettu, ja näin ollen energiakustannuksissa ja hiilidioksidipäästöissä on säästetty jo hankkeen toteutuksen aikana.

Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulun hanketta rahoittavat Uudenmaan liitto Euroopan aluekehitysrahastosta ja hankkeen kumppanit Kotka Maretarium Oy, Kymijoen ravintopalvelut Oy, Kotka-Kymin seurakunta, Virolahden kunta, VR Group ja Mikkelin tuomiokirkkoseurakunta.

## JOHDANTO

Energiatehokkuuden parantaminen tukee Suomea kasvihuonekaasupäästöjen vähennystavoitteissa ja samalla hillitsee ilmastonmuutosta. Suomi on sitoutunut noudattamaan kansainvälisten sopimusten ja EU-lainsäädännön sisältämiä velvoitteita, joihin pohjautuu vuonna 2015 voimaan tullut ilmastolaki. Lain pitkän aikavälin tavoitteena on vähentää vähintään 80 prosenttia hiilidioksidipäästöjä vuoden 1990 tasosta vuoteen 2050 mennessä. Muutoksia tukemaan Suomen hallitus on hyväksynyt keskipitkän aikavälin ilmastopolitiikan suunnitelman vuoteen 2030: KAISU - kohti ilmastoviisasta arkea. (Ympäristöministeriö 2017)

Ilmastostrategiassa on määritelty toimia päästöjen vähentämiseksi koskien muun muassa rakennusten erillislämmitystä, jolloin öljylämmityksen päästöihin tulee vaikuttaa alentavasti, valtio luopuu öljylämmityksestä vuoteen 2025 mennessä ja julkisia toimijoita kannustetaan samaan, lisäksi parannetaan energiatehokkuutta ja uudistetaan uusiutuvan energian käyttöä. Tavoitteena on vähentää kasvihuonekaasuja aloilla, jotka eivät kuulu päästökaupan piiriin. (Ympäristöministeriö 2017)

Tässä hankkeessa on vastattu vuoden 2030 suunnitelmaan vähentämällä kasvihuonekaasuja päästökauppaan kuulumattomilla aloilla. Hankkeessa toteutettujen energiatehokkuutta parantavien toimenpiteiden seurauksena hankkeen kumppaneiden kohteissa ovat hiilidioksidipäästöt vähentyneet vuoden 2017 kesäkuun loppuun mennessä yhteensä 141 tCO<sub>2</sub>.

Hankkeessa löydettyjen ja esitettyjen toimenpide-ehdotusten kokonaissäätöpotentiaali hiilidioksidipäästöissä on 1 100 tCO<sub>2</sub> vuodessa. Kaikkia hankkeessa esitettyjä säästötoimenpide-ehdotuksia ei ole vielä kumppaneiden kohteissa toteutettu.

Kokonaisenergiankulutuksesta suuri osa kuluu lämmitys- ja jäähdytystarpeeseen. Energiantarpeeseen vaikuttavat ympäristön sääolosuhteet, lämpötila, kosteus, auringon säteily ja tuulen nopeus. Tarkasteltaessa ilmastolämpenemisen vaikutusta vuoteen 2030 mennessä kokonaisenergiankulutus vähenee 4–7 prosenttia, jolloin kokonaisenergianjakauma muuttuu kiinteistöissä pienentäen lämmitysenergian tarvetta noin kymmenen prosenttia ja suurentaen jäähdytysenergian tarvetta noin 15 prosenttia. Kiinteistöjen lämmitys- ja jäähdytystarpeeseen vaikuttavat eniten ulkoilman lämpötila. Kesäisin auringon säteilyn vaikutus on lähes yhtä suuri. (Jylhä ym. 2011, 3)

Kymenlaakson ilmasto- ja energia-asioiden kehitystä on tuettu alueellisesti hankkeiden puitteissa. Jo päättyneet hankkeet EkoKymenlaakso (2010–2013), KymECO<sub>2</sub> (2013–2014) ja Step to Ecosupport (2013–2014) ovat lisänneet Kymenlaakson alueen tietoisuutta ilmasto- ja energia-asioihin liittyen sekä luoneet alueelle toimintamallit, mukaan lukien energiatehokkuussopimuksiin liittyvän velvoitteen energiakatselmuksen toteutukselle. Ecoool-hankkeen lisäksi meneillään olevat hankkeet Resurssitehokkaat teolliset symbioosit (2016–2018) ja KymBio (2017–2019) tukevat ilmasto- ja energia-asioita. Kahden ensimmäisen toteutusvuoden aikana Ecoool-hankkeessa on toteutettu energiaselvityksiä, jotka ovat pohjana hankkeessa syntyville toimintamalleille ja ohjeistuksille. Energiaselvitysten tulokset on esitetty seuraavissa kappaleissa.

## **ENERGIASELVITYKSET**

Energiaselvitykset on toteutettu hankkeen kumppaneiden kiinteistöissä, joita on yhteensä 13. Tarkasteltavat kohteet ovat olleet Kotka Maretarium, Kymijoen Ravintopalveluiden keskuskeittiö Kapyysi, VR Group Kouvolan varikko ja Pieksämäen vetokalustohalli, Kotka-Kymin seurakunnan Kotkan kirkko, Ristiniemen kurssikeskus, Parikan kappeli ja Kymen krematorio, Sunilan seurakuntatalo sekä Laajakosken kappeli, Virolahden kunnan jätevedenpumppaamot (13 kpl), koulukeskus ja palvelukeskus Villinranta sekä Mikkelin tuomiokirkkoseurakunnan Mikkelin seurakuntakeskus ja Mikkelin tuomiokirkko. Kiinteistöissä suoritettavat energiaselvitykset on toteutettu Motivan kiinteistön energiakatselmuksen mallin mukaisesti. Energiakatselmuksraportissa käsitellään kohteen energian- ja vedenkäytön nykytila, kuvataan LVIS-järjestelmien toiminta ja käyttö sekä esitetään säästötoimenpide-ehdotukset sisältäen perustelut, säästövaikutukset ja takaisinmaksuajat. Energiakatselmuksen pitää sisällään paikan päällä suoritettavia kenttämittauksia.

Lämmityskauden 2015–2016 aikana hankkeessa suoritettiin ensimmäiset selvitykset kiinteistöihin. Selvitykset koostuvat kolmen kokonaisuuden suorittamisesta: lähtötietojen ke-

räyksestä, kohteessa suoritettavista kenttämittauksista ja kerätyn tiedon analysoinnista ja raportoinnista. Ensimmäisessä vaiheessa kerätään kiinteistön lähtötiedot perustiedoista kulutustietoihin. Tavanomaisella tekniikalla varustetussa kiinteistössä energian- ja vedenkulutuksen pitäisi pysyä lähes muuttumattomana toiminnan pysyessä samanlaisena. Tässä vaiheessa voidaan havaita poikkeavat arvot kulutuksissa ja näin ollen kiinnittää niihin huomiota kenttämittauksissa. Katselmuksen yhteydessä poikkeama voidaan analysoida.

Selvityksen toinen vaihe sisältää kenttämittausten suorittamisen. Kenttämittauksissa pyritään selvittämään kiinteistön tarpeenmukainen ja toimiva käyttö. Mittaukset suoritetaan lämpö- ja sähköjärjestelmien ja vesikalusteiden osalta. Kuvassa 1 on sähkötehon mittaus Ecool-hankkeen kohteessa.



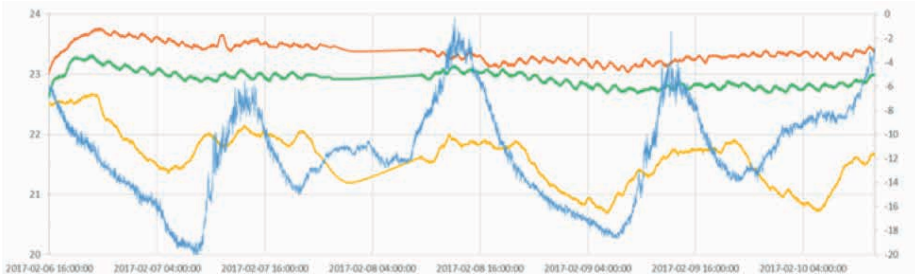
*Kuva 1. Sähkötehon mittaus Fluke 435 II -mittalaitteella (kuva Xamk).*

Taulukossa 1 on esitetty Ecool-hankkeessa suoritettavat kenttämittaukset. Mittausjakson pituus suunnitellaan aina mittauskohteen mukaan, ja siinä otetaan huomioon kiinteistön käyttötarkoitus.

**Taulukko 1.** Ecoool-hankkeessa suoritettut kenttämittaukset (taulukko Xamk).

Huomion kohde	Mitä tarkastellaan	Laite, jolla mitataan Ecoool-hankkeessa
Vesikalusteet	Veden virtaus	Oras water flow meter
IV-koneet: ilmapirratt	Ilmapirratt	Kimo MP210 Testo 435-4
IV-koneet: lämmöntalteenotto	Hyötysuhde	Lutron TM-947SD Olosuhdelähettimeet (Nokeval)
Kaukolämpöverkko	Virtausnopeus, virtausmäärät	Intra-ultraäänimittari
Lämmityskattila	Savukaasujen koostumus	Testo 330
Rakenteet	Lämpövuoto	Fluke Ti300
Sähkölaitteet	Sähköteho, sähkön laatu	Fluke 435 II
Tilojen olosuhteet	Lämpötila	Lutron TM-947SD Fluke 975 Testo 435-4 Trotec Olosuhdelähettimeet (Nokeval, Xamk)
Tilojen olosuhteet	Hiilidioksidi, hiilimonoksidi	Fluke 975 Testo 435-4 Trotec Olosuhdelähettimeet (Nokeval, Xamk)
Tilojen olosuhteet	Valaistus: valoisuus, väri	Peaktech 5025 Testo 435-4 Konica Minolta CL-70F
Tilojen olosuhteet	Suhteellinen kosteus	Fluke 975 Testo 435-4 Trotec Olosuhdelähettimeet (Nokeval, Xamk)

Energiatarkastelun kolmannessa vaiheessa analysoidaan kerätty tieto ja raportoidaan tulokset. Kenttämittausten mittaustiedosta havaitaan poikkeavat arvot ja raportoidaan suositeltava muutosehdotus. Muutosehdotus voi olla helposti toteutettava, esimerkiksi pelkkä ohjaustavan muutos, tai ehdotus voi olla suurempi investointi, jolloin on syytä tehdä tarkempi tarkastelu asiantuntijan kanssa ennen investointia. Esimerkkinä kuvassa 2 havaitaan sisälämpötilan (keltainen) vaihtelu ulkolämpötilan (sininen) mukaan. Todennäköinen aiheuttaja löytyy linjasäätöventtiilin asetusarvoista, jolloin toimenpide ei vaadi investointeja.



**Kuva 2.** Esimerkkikohteessa suoritettu sisälämpötilojen (keltainen, punainen, vihreä) seuranta- ja täydennystarkastelu, ulkolämpötila (sininen) (kuva Xamk).

Lämmityskauden 2015–2016 energiatarvikeluista täydennettiin kesän 2016 aikana jäähdytyskauden tarkasteluilla kohteissa, joissa on jäähdytystarvetta. Lämmityskaudella 2016–2017 suoritettiin kohteisiin seuranta- ja täydennystarkastelut, joissa todennettiin toteutuneiden muutostöiden vaikutusta. Jäähdytyskauden osalta seuranta- ja täydennystarkastelu suoritettiin kesällä 2017.

## YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET

Suoritettujen energiatarvikeluiden pohjalta todetaan, että hankkeen tuloksena säästetty energia kesäkuun 2017 loppuun mennessä on ollut 660 MWh, joka on neljä prosenttia hankkeen kohteiden vuoden 2015 energiankulutuksesta. Hankkeessa havaittu vuosittainen säästöpotentiaali sähkö- ja lämpöenergian osalta on 2 700 MWh, joka on 18 prosenttia vuoden 2015 energiankulutuksesta. Suomessa vuosien 2008–2013 aikana raportoiduissa Motiva-mallin mukaisissa energiakatselmuksissa havaitut säästömahdollisuudet ovat keskimäärin lämmön osalta 12 prosenttia ja sähkön osalta seitsemän prosenttia (Motiva 2017).

Energiatietoisuus ja energiansäästö vaikuttavat nykyhetkessä. Käyttötottumusten muutoksilla voidaan itse vaikuttaa ympäristön päästökuorman pienentämiseen. Energiaselvitysten kautta saatavilla suurillakin säästöillä ei oikein toteutettuna ole vaikutusta toimintaympäristön olosuhteisiin.

## LÄHTEET

Ympäristöministeriö. 2017. Valtioneuvoston selonteko keskipitkän aikavälin ilmastopoliitiikan suunnitelmasta vuoteen 2030. PDF-dokumentti. Saatavissa <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-11-4748-7> [viitattu 23.10.2017].

Jylhä, K., Kalamees, T., Tietäväinen, H., Jokisalo, J., Hyvönen, R., Ilomets, S., Saku, S., Huttila, A. 2011. Rakennusten testivuosi 2012 ja arviot ilmastomuutoksen vaikutuksesta. Sitran selvityksiä 53., Ilmatieteen laitos raportteja 2011:6. PDF-dokumentti. Saatavissa <http://hdl.handle.net/10138/33069> [viitattu 23.10.2017].

# RESURSSITEHOKKUUTTA KYMENLAAKSOON

Erja Tuliniemi & Henrikki Pieskä

Resurssitehokkaat teolliset symbioosit -hankkeen tavoitteena on edistää materiaali- ja energiategohkkuutta erityisesti Kymenlaakson alueella laajentamalla resurssitehokkuuspalvelumallia kattamaan myös energiavirtoja. Tämä artikkeli on lyhennelmä hankkeen kohdeyrityksissä tehtyjen energia- ja materiaaliselvitysten tuloksista. Selvitykset on toteutettu alueen yritysten omista lähtökohdista ja tarpeista tunnistettujen ongelmien ratkaisemiseksi. Ehdotettujen toimenpiteiden toteutuksella pienennetään yrityksen hiilijalanjälkeä ja samalla säästetään kustannuksissa.

Hankkeen hallinnoija on Kouvola Innovation ja osatoteuttaja Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu (Xamk). Xamkin osatoteutuksen kohdeyritykset hankkeessa ovat olleet Elimäen Puustelli, Kouvolan Saha, Elementit E ja Kymenlaakson älykkään erikoistumisen (RIS3) strategian biotalousjärjen yritykset. Hanketta rahoittaa Uudenmaan liitto Euroopan aluekehitysrahastosta.

## HUKKARESSIT HYÖTYKÄYTTÖÖN

Ilmastonmuutosta vähentävät tuotantoprosessit ja toimintamallit tukevat resurssitehokkuuden ajatusta ”vähemmästä enemmän”, jossa taustalla on ympäristökuormituksen vähentäminen. Parempaan tulokseen ja hyvinvointiin pyritään pääsemään pienemmillä luonnonvarojen kulutuksella. Kiertotalous on talousmalli, jossa parhaimman taloudellisen potentiaalin ja uudistumismahdollisuuden saavat edelläkävijäyritykset.

Kiertotalouden tulevaisuuden näkymässä jätettä ei synny lainkaan, vaan yli jäänyt materiaali on toisen raaka-aine (Sitra 2014, 3). Suomessa on jo olemassa laaja kiertotalouden kehittämisen kokonaisuus, jossa resurssien käyttö on suunniteltu kestäväksi ja jätevirtoja seurataan, minimoidaan ja poistetaan siten, että materiaalit ja tuotteet kiertävät eivätkä vain kulu. Vuonna 2015 Suomen palvelualueiden kierrätysaste oli 40 prosenttia ja hyötykäyttöaste 60 prosenttia (HSY 2015). Kuitenkin kierrätys- ja hyötykäyttöasteita voidaan entisestään parantaa; Suomessa on mahdollisuudet tehostaa kiertotaloutta vuoteen 2030 mennessä jopa 1,5–2,5 miljardin euron vuotuisella kasvupotentiaalilla (Sitra 2014). Tällöin voidaan todeta, että jätteen syntyminen on selvästi vähentynyt.

Kymenlaakso on rakennemuutosalue, jossa tiedostetaan tarve uudentyyppisille liiketoimintamalleille ja pyritään näkemään niiden kasvumahdollisuudet. Alue pyrkii toimimaan uusien menettelytapojen kehittäjänä ja soveltajana. Maakuntaohjelmaan perustuen Kymenlaaksoon on luotu älykkään erikoistumisen strategia RIS3. Tavoitteena on kilpailukykyinen, houkutteleva ja elinvoimainen Kymenlaakso. Yksi kolmesta RIS3-strategian pääaloista on biotalous, jota Resurssitehokkaat teolliset symbioosit -hanke on toteuttanut. Kymenlaaksoa ohjataan alueellisesti kohti resurssitehokkaampaa ja vähähiilisempää taloutta tukien erityisesti alueen pk-yrityksiä liiketoimintamahdollisuuksien ja tehostamistoimenpiteiden tunnistamisessa ja käyttöönotossa (Kymenlaakson liitto 2016, 5–6). Hankkeessa on tehty selvityksiä kiertotalouden näkökulmasta keskittyen raaka-aine- tai energiavirtojen määrittämiseen. Selvitysten tulokset on esitelty seuraavissa kappaleissa.

## **YMPÄRISTÖYSTÄVÄLLINEN LÄMMITYSMUOTO**

Kouvolassa sijaitsevan palvelukeskuksen Elimäen Puustellin energiatarkestellun tavoitteena oli selvittää kiinteistöön vuonna 2014 asennetun ilma-vesilämpöpumpun kannattavuus. Kiinteistöön suoritettiin talvella 2013–2014 Motivan mallin mukainen energiakatselmuus, jonka toimenpiteenä ehdotettiin lämmitysjärjestelmän muutosta. Palvelukeskuksen lämmitysjärjestelmänä on vesikiertoinen patterilämmitys, jonka kiertovesi lämmitetään maakaasulla, kuten myös käyttövesi. Toimenpide-ehdotuksena esitettiin nykyisen maakaasulämmityksen korvaamista osittain ilma-vesilämpöpumpulla tarkoituksena säästää energiakustannuksissa ja samalla vähentää maakaasun kulutusta. Kesällä 2014 kohteeseen asennettiin lämmitystä avustava ilma-vesilämpöpumppu. Järjestelmä koostuu kahdesta ilma-vesilämpöpumppuyksiköstä sekä näihin liitetyistä varaajista, joista toisella yksiköllä lämmitetään lämmitysjärjestelmän kiertovettä ja toisella käyttövettä.

Lämmitysjärjestelmän muutoksen kannattavuustarkastelun tuloksena havaittiin maakaasukulutuksen pienentyneen merkittävästi ja samalla sähkönkulutuksen nousseen odotetusti. Kokonaislämmityskustannukset palvelukeskuksessa ovat lämpöpumppujärjestelmän asentamisen ansiosta olleet vuosittain 20 prosenttia pienemmät kuin ne olisivat olleet ilman järjestelmän asentamista. Muutoksen vaikutuksesta hiilidioksidipäästöt ovat pienentyneet vuodessa 30 tonnia.

Elimäen Puustelli on investoinnilla ollut tukemassa Kymenlaakson alueen kuntien energiasäästösopimuksen tavoitteiden täyttymistä. Kiinteistöjen hiilidioksidipäästöt vastaavat yhtä kolmasosaa kaikista hiilidioksidipäästöistä, joten lämmitysjärjestelmän uusimistarpeen kohdalla tulee huomioida myös ympäristönäkökulma (Härkönen 2015).

## **SAHAN SIVUTUOTTEISTA ENERGIAA**

Tarkastelun tavoitteena oli selvittää Kouvolan Saha Oy:n tuotannon sivuvirtana syntyvän puun kuoren hyödyntämisen mahdollisuudet energiantuotannossa. Huomioon otettiin

myös kuiva puuhake, jota saadaan hankittua edullisesti. Lähtökohtana oli saada kustannustehokas lopputulos lämmön- ja mahdollisesti myös sähkön- ja prosessihöyryn tuotantoon alueen kiinteistöille. Toteutettavia ratkaisuja löytyi kolme, joista yksi lämmöntuotantoon, yksi sähkön- ja lämmöntuotantoon ja yksi prosessihöyryn, sähkön- ja lämmöntuotantoon. Nykyhetken lämmitysmuotona tarkastelualueen kiinteistöissä on maakaasu tai kaukolämpö.

Ensimmäinen vaihtoehto uudeksi lämmitysmuodoksi on kiinteän polttoaineen lämmityskattila, jolla korvataan alueen nykyiset lämmitysjärjestelmät. Lämmityskattilan nimellistehon tehontarve on mitoitettu 60 prosenttiin vaaditusta lämmitystehon tarpeesta. Tällöin saadaan nostettua kattilan huipunkäyttöaikaa ja samalla pienennettyä investointikustannusta. (Kaukolämmön käsikirja 2006) Huipputehon lämmitystarpeen kattamiseen ehdotetaan käytettäväksi aikaisemmin sahan kuivaamo varten hankittua hakekattilaa. Laitoksen elinkaarikustannukset huomioiden lämmityskattilan takaisinmaksuaika on alle kymmenen vuotta pienelle lämmityslaitokselle tyypillisellä huipunkäyttöajalla. Rahoituskustannuksia ei ole huomioitu tässä tarkastelussa.

Toinen vaihtoehto on kaasutusvoimalaitos alueen sähkön- ja lämmöntuotantoon. Lämmön osalta tarkastelu rajattiin käyttöveden lämmitykseen, koska kulutuksen tulee olla tasaista. Soveltuva voimalaitos koostuu moduuleista, joita yhdistelemällä on mahdollisuus kasvattaa laitoksen kokonaistehoa. Kouvolan sahan alueelle sovellettiin yhden moduulin ratkaisua, jossa optimistisimmilla arvioilla (suurin huipunkäyttöaika ja pienin investointikustannus) laitos ehtii maksaa itsensä takaisin arvioidun käyttöikänsä puitteissa. Käyttöikäksi on arvioitu kymmenen vuotta, koska teknologia on varsin uutta eikä voimalaitoksen kestävydestä ole riittävästi kokemuseräistä tietoa. Polttoaineen laadulla on merkitystä laitoksen toimintaan, joten siihen tulee kiinnittää erityistä huomiota.

Kolmas vaihtoehto on höyrykattila, jolla tuotetaan alueelle lämpöä sekä käyttö sähköä ja tarvittava prosessihöyry. Polttoaineteholtaan kattila on 3 MW, joka on höyrykattilaksi pieni. Takaisinmaksuaika on oletetulla huipunkäyttöajalla vajaa 30 vuotta. Laitoksen kannattavuutta voi parantaa merkittävästi, mikäli tuotetulle lämpöenergialle löydetään mahdollisimman tasaisen kuormituksen kulutuskohteita. Myöskin tarvitaan sähkönkulutuskohteita toimistoajan ulkopuolella, sillä ostetun sähkön korvaaminen omalla tuotannolla on kannattavampaa kuin tuotetun sähkön myyminen verkkoon.

Tuloksena todetaan, että kiinteän polttoaineen lämmityskattila on takaisinmaksuajaltaan järkevin vaihtoehto toteuttaa. Ympäristö huomioiden investoinnin toteutuessa lämmityskattilan aikaansaama päästöjen vähenemä olisi 320 tonnia hiilidioksidia vuodessa. Investointi kuuluu varauksin Tekesin tuen piiriin, johon voi saada 10–15 prosentin tuen, mikä lyhentää entisestään takaisinmaksuaikaa.



## ENERGIATEHOKAS TUOTANTOTILA

Kouvolassa sijaitseva puutilaelementtirakentamisen tehdas Elementit E mieltää energiatehokkuuden kehittämisen jatkuvana prosessina, joka ei koskaan tule valmiiksi. Elementit E:lle suoritettun tarkastelun tavoitteena oli todentaa aikaisemmin tehtyjen muutosten vaikutusta energiankulutukseen ja hiilidioksidipäästöjen vähentämiseen. Lisäksi tarkastelun tavoitteena oli löytää uusia säästökohteita kulutusmittauksia hyödyntäen. Lopputuloksena voidaan määrittää tuotetun elementtikiinteistön hiilidioksidipäästöt rakennettua neliötä kohden.

Selvityksessä tarkasteltiin muutostoimenpiteiden vaikutusta energiankulutukseen. Tarkastelussa hyödynnettiin teorian lisäksi kohteessa suoritettavia kenttämittauksia (kuva 1). Kokonaisuudessaan kohteen energiankulutus on laskenut ja tuotannon hiilidioksidipäästöt sekä ostoenergian määrä tuotettua rakennusneliötä kohden ovat puolittuneet muutostoimenpiteiden vaikutuksesta. Kohteessa on muutettu ensisijainen lämmitysjärjestelmä maakaasukattilasta hakekattilaan, jossa polttoaineena hyödynnetään tuotantoprosessin sivuvirtana syntyvää puujätettä, valaistus on pääosin vaihdettu LED-valaisimiin, paineilmakompressori on vaihdettu pienempään ja energiatehokkaampaan, ilmanvaihtojärjestelmää on uudistettu, ja sähköntuotannossa hyödynnetään aurinkopaneeleja. Energiatarkastelun toteutuksessa havaittiin uusia säästökohteita, joista osa on jo toteutettu, kuten paineilmasäiliön venttiilin vuotokohdat sekä vioittunut ilmanvaihtokoneen lämmöntalteenoton servomootori. Lopputuloksena voidaan todeta, että tuotannon hiilidioksidipäästöt rakennettua neliötä kohden ovat alhaiset. Puutilaelementtirakentaminen on rakentamisen näkökulmasta ympäristöystävällinen valinta verrattaessa esimerkiksi vastaavan kivikiinteistön rakentamisen aikaisiin hiilidioksidipäästöihin. Elementit E:n hiilidioksidipäästöt tuotettua neliötä kohden ovat kolme prosenttia kivistä rakennetun toimistokiinteistön rakennusaikaisista hiilidioksidipäästöistä (Betoniteollisuus ry 2010, 42).



*Kuva 1. Ultraääneen perustuva virtausmittari DN 20–1 000:n putkelle (kuva Xamk).*

## SEKUNDÄARIENERGIAN POTENTIAALI

Kymenlaakson älykkään erikoistumisen (RIS3) strategian biotalousjärjen jalkauttamisen yhteydessä tehdyissä haastatteluissa Kymenlaakson alueen yritykset ovat tuoneet esiin omia tarpeita toiminnan tehostamiseksi. Tässä hankkeessa on aloitettu tarkasteluja lämpövirtojen hyödyntämisestä tehasintegraateissa. Lämpövirtojen käyttökohteena on lietteen tai muun polttoaineen kuiva-ainepitoisuuden nostaminen. Kymenlaakson alueelta on kartoitettu kiinnostuneet yritykset, ja kiinnostuneilta yrityksiltä on pyydetty lähtötiedot jatkok tarkastelua varten. Meneillään oleva tutkimus sisältää tarkastelua olemassa olevista ratkaisusta kuiva-ainepitoisuuden nostoon sekä selvitystä lämpövirtojen hyödyntämismahdollisuuksista olemassa oleviin ratkaisuihin. Tarkastelu pitää sisällään myös muiden käyttökohteiden selvittämisen sekundäärienergialle. Lisäksi arvioidaan eri ratkaisujen taloudellinen kannattavuus. Tarkasteluja jatketaan Kymenlaakson biotaloustoimintaympäristön kehittämisen KymBio-hankkeessa.

## JOHTOPÄÄTÖKSET

Resurssitehokkuus nousee esille yhä enenevässä määrin nykymaailmassa. Ajattelumallissa huomioidaan ihmisille elintärkeä ilmasto ja ympäristö, jossa pyritään löytämään ympäristöystävällisempiä ja edullisempia tapoja toimia. Resurssien viisaalla käytöllä primäärilähteitä tarvitaan vähemmän ja tuloksena syntyy enemmän tulosta. Prosessissa säästetty yksikkö, kuten energia, hiilidioksidi tai muu mitattava, kiinnostaa vain tiettyä osaa ihmisistä, mutta säästetty raha kiinnostaa kaikkia. Järkevillä valinnoilla on saavutettu säästöä myös tämän hankkeen tarkastelun kohteissa. Jatkossakin pyritään saavuttamaan resurssiviisailla valinnoilla mahdollisimman suuri säästö rahassa ympäristö edellä.

## LÄHTEET

HSY. 2015. Petra-jätevertailu tilastot. WWW-dokumentti. Saatavissa: <http://www.petra-jatevertailu.fi/hsy/?mo=stats> [viitattu 21.8.2017].

Härkönen, P. 2015. Miten kestävä kehitys integroidaan liiketoimintaan kiinteistö- ja rakennusalalla? Blogi. Saatavissa: <http://figbc.fi/miten-kestava-kehitys-integroidaan-liiketoimintaan-kiinteisto-ja-rakennusalalla/> [viitattu 4.10.2017].

Kaukolämmön käsikirja. 2006. Energiateollisuus ry.

Kivitalojen energiatehokkuus. 2010. Betoniteollisuus ry. PDF-dokumentti. Saatavissa: [http://kivitalo.asiakkaat.sigmatic.fi/core/wp-content/images/2012/06/kivitalon\\_energia-tehokkuus\\_kirja\\_2010.pdf](http://kivitalo.asiakkaat.sigmatic.fi/core/wp-content/images/2012/06/kivitalon_energia-tehokkuus_kirja_2010.pdf) [viitattu 9.10.2017]

Kymenlaakson älykkään erikoistumisen RIS3-strategia 2016–2020. 2016. Kymenlaakson liitto. PDF-dokumentti. Saatavissa: <http://www.kymenlaakso.fi/attachments/article/3954/Kymenlaakso%20RIS3-strategia%202016-2020.pdf> [viitattu 4.10.2017].

Kiertotalouden mahdollisuudet Suomelle. 2014. Sitra. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://media.sitra.fi/2017/02/23221919/Selvityksia84-1.pdf> [viitattu 4.10.2017].

Kiertotalous on Suomelle jopa 2,5 miljardin euron mahdollisuus. 2014. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.sitra.fi/uutiset/kiertotalous-suomelle-jopa-25-miljardin-euron-mahdollisuus/> [viitattu 21.8.2017].

# TKI-ENERGIAKESKITTYMÄ – HANKEYHTEISTYÖSTÄ ETEENPÄIN

Juha Solio & Kirsi Tallinen & Erja Tuliniemi

Tutkimus- ja kehitystoimintaa tehostetaan Kymenlaakson alueella, kun elokuussa 2017 Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulun (Xamk) hallintaan on siirtynyt Kouvolassa sijaitseva Kouvolan seudun ammattiopiston (KSAO) koulutus- ja tutkimuskeskus BioSampo. Tämä muutos vahvistaa ammattikorkeakoulun kehitystyötä niin energia-alan koulutuksen osalta kuin Metsä, ympäristö ja energia -vahuusalan TKI-toiminnassa.

BioSammon siirtymiseen ammattikorkeakoululle on vaikuttanut vahvasti kaksi vuosina 2015–2017 toteutettua hanketta, joissa sekä KSAO että Xamk olivat toteuttajina. Hankkeet olivat TKI-energiakeskittymä – kädet ja aivot yhdessä -hanke (EAKR), jossa luotiin uudenlaista yhteistyötä oppilaitosten välille vähentämään päällekkäisiä toimintoja. Energiaopintojen elinkaari-polku -hankkeessa (ESR) puolestaan selvitettiin koulutuksen tarjonnan, laadun ja tehokkuuden parantamistoimia energia-alalla yhdessä yritysten ja eri koulutustasojen kanssa.

## YHTEISTYÖN KEHITTÄMISEN TARVE

Niin EU:n, Suomen kuin alueellisten (maakunnan ja kuntien) biotalouteen liittyvien strategioiden mukaisesti tavoitteena on luoda uutta talouskasvua ja uusia työpaikkoja: painopisteitä ovat muun muassa kilpailukykyisen toimintaympäristön luominen biotalouden kasvulle sekä biotalouden osaamisperustan uudistaminen koulutusta ja tutkimustoimintaa kehittämällä. Myös digitalisaation merkitys koulutuksessa kasvaa. (Kestävää kasvua 2014)

Talvella 2014 käytiin oppilaitosten henkilöstön välillä keskustelua siitä, miten Kymenlaaksoissa sijaitsevat tutkimus- ja kehitystyötä tekevät sekä opetusalan toimijat voisivat hyödyntää olemassa olevia resursseja entistä paremmin. Tällöin löydettiin nopeasti Kouvolan seudun ammattiopiston (KSAO) koulutus- ja tutkimusympäristö BioSammon ja Kymenlaakson ammattikorkeakoulun (nykyisin Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu, Xamk) energiatekniikan koulutuksen sekä TKI-toiminnan kehittämiseksi yhteinen ajatusmaailma: tarpeisiin vastaaminen ja uusien ratkaisujen löytäminen edellyttävät tiivistä yhteistyötä ja uudistumista. Koulutuksellisen yhteistyön ja siihen liittyvien etäyhteyksien kehittäminen parantavat koulutuksen laatua sekä saavutettavuutta. TKI-toimintaa edistävän toimintaympäristön luominen antaa mahdollisuuden kehittämiseen, joka tukee yhteisten ratkaisujen löytämistä. Yhteistyölle luotiin alku, jota päästiin vahvistamaan yhdessä suunnitelluilla ja toteutetuilla kehityshankkeilla. (Tallinen, Tuliniemi 2017)

## HANKETULOKSET

TKI-energiakeskittymä-hankkeen päätavoitteena oli yhdistää ammatillisen toisen asteen koulutuksen ja ammattikorkeakoulun energiateknisen tutkimuksen, koulutuksen ja käytännönharjoittelun toimet pääosin yhteen kohteeseen eli BioSampoon. Toiminnalla lisätään BioSammun käyttöastetta ja yhteistyötä kahden eri tason oppilaitoksen välillä.

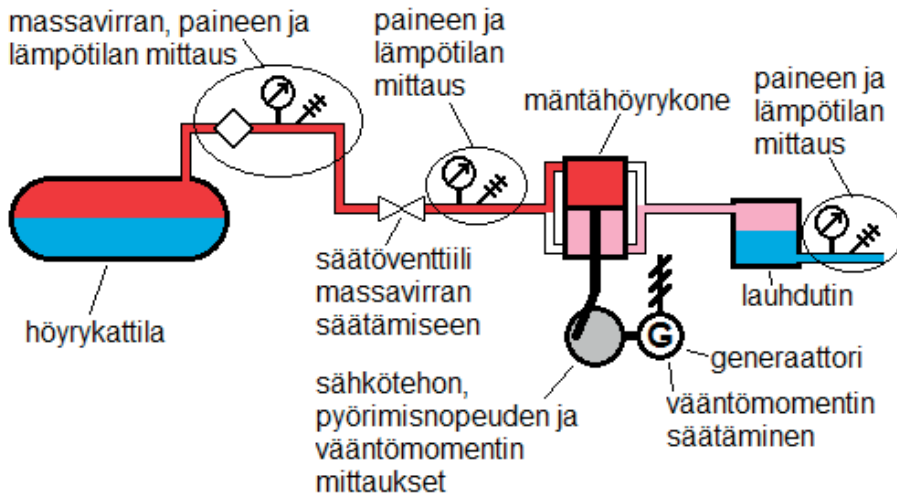
Hankkeessa toteutettiin suunnitelman mukaisia oppimisympäristön kehitystoimia, joista merkittävin oli etäyhteyksien luominen KSAO:n ja Xamkin välille. Laboratorioharjoituksia voidaan tehdä sekä paikan päällä että etäyhteyksien välityksellä (kuva 1). Käytännön harjoittelupaikkana BioSammosta on saatu toimivampi ja monipuolisempi, kun hankkeessa luotiin uusia laboratorioharjoituksia sekä suoritettiin työharjoittelua ja opinnäytetöitä.



*Kuva 1. Biopolttoaineiden jalostamisen laboratorioharjoitus kuivatuslauksen osalta työn alla (kuva Petri Hurme, Vinkeä Design).*

Toiminta aloitettiin laboratorioympäristöjen kartoituksella ja laitteistojen mahdollisuuksien selvittämisellä. Laboratorioharjoitukset ovat osana molempien koulutusorganisaatioiden koulutus- ja kehitystyötä, jolloin tutkimuksen eri osa-alueet kuuluvat ammattikorkeakoulun toimintaan ja prosessin hoitaminen ammattikoulun toimintaan. Yhteistoiminnalla voidaan myös vähentää päällekkäisten ja osin myös samanlaisten prosessien rakentamista kahteen maantieteellisesti hyvin lähellä toisiaan sijaitsevaan oppilaitokseen.

Työohjeita hankkeessa tehtiin kahdelle laboratorioharjoitukselle: aurinkoenergiajärjestelmät ja biopolttoaineiden jalostaminen. Aurinkoenergiajärjestelmät koostuvat kahdesta eri harjoituksesta: mäntähöyrykone ja aurinkosähkö (kuva 2).



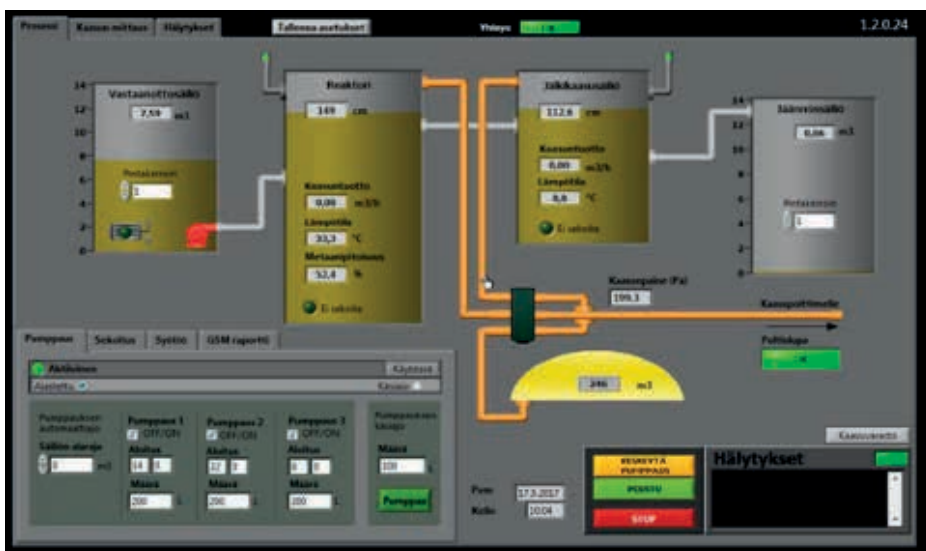
**Kuva 2.** Laitteiston toimintaperiaate. Mäntähöyrykone (kuva Hannu Sarvelainen).

Esimerkiksi mäntähöyrykoneen ympärille on kehitetty seuraavia tyyppillisiä laboratoriotöihin liittyviä tehtäviä:

- esiselvitys
- mittaus
- laskenta
- simulointi
- laitteiston kehittäminen
- raportointi.

Mäntähöyrykoneeseen liittyvät tehtävät antavat opiskelijoille hyvää käytännön tietoa höyry- ja voimalaitostekniikan perusteista. Tehtävä voidaan myös suorittaa soveltuvin osin sekä ammattiopisto- että amk-opiskelijoiden toimesta tai yhteistyössä.

Etäyhteysharjoituksia on tuotettu Xamkin biokaasuprosessiin ja aurinkosähköön liittyen. Etäyhteyden kautta laboratoriotöiden tekeminen on mahdollista, vaikka itse laitteistot ovat eri paikkakunnalla (Kouvola) kuin missä pääasiallisesti (Kotka) opiskellaan. Etäyhteyden avulla opettaja voi pitää demoluentoja, joissa hän näyttää laitteiston toimintaa. Itseopiskelutehtävissä opiskelijat voivat katseluoikeuksin tutustua omatoimisesti esimerkiksi laitteiden käyttöliittymiin (kuva 3).



*Kuva 3. BioSammon biokaasuprosessin käyttöliittymä (kuva Xamk).*

Toteutuksessa on ollut mukana kymmeniä Xamkin energiatekniikan opiskelijoita. Tuloksien hyödyntämistä jatketaan hankkeen päättymisen jälkeen Xamkin energia- ja ympäristötekniikan koulutuksessa, jossa hankkeesta kehitettyjä harjoituksia toteutetaan ja jatkokehitetään.

Tutkimustoiminnan kehittämiseksi hankkeesta tiedusteltiin yritysten kiinnostusta yhteistyöhön BioSampo–amk-toimintaympäristössä. Kiinnostusta oli, mutta se liittyi pääosin koulutukseen. Kehittämisyhteistyötä aloitettiin muutaman yrityksen kanssa. (Tallinen, Tuliniemi 2017)

## MAAKUNNALLINEN KEHITTÄMINEN KESKIÖSSÄ

Kymenlaakson älykkään erikoistumisen strategiaa (RIS3) alettiin tehdä vuonna 2015, ja luonnos julkaistiin seuraavana vuonna. Siinä esille oli noussut alueellisesti kolme kehityskärkeä: biotalous, logistiikka ja digitalisaatio (Kymenlaakson älykkään 2016). Kymenlaakson RIS3-biotalouden jalkauttaminen tulisi aloittaa, ja sille tulisi löytyä sopiva toiminta-alue.

Samanaikaisesti Kouvolan kaupunki teetti selvityksen, jossa todettiin BioSammon toiminta-ajatuksen perustuvan vahvasti kehittämis- ja tutkimustyöhön sekä hanketoimintaan. Kouvolan kaupungin tulisi pohtia ja päättää, haluaako se säilyttää BioSammon omana toimintanaan vai tulisiko BioSampo sijoittaa ammattikorkeakoulun yhteyteen. (FCG Konsultointi 2016)

Taloudelliset syyt ajoivat myös KSAO:n vähentämään ja sijoittamaan koulutustarjontaansa yhdelle kampukselle, jolloin BioSammolle ei ollut enää niin suurta koulutuksellista tarvetta. Kevään 2017 aikana Kouvolan kaupungissa vahvistui näkemys siitä, että BioSampo on toiminnallisesti soveltuvampi osaksi ammattikorkeakoulua kuin ammattiopistoa, ja elokuun alussa BioSampo siirtyi Xamkin hallintaan.

Kun vuoden 2017 alusta aloitti toimintansa Etelä-Savon ja Kymenlaakson alueet kattava Xamk, puuttui ammattikorkeakoululta tutkimusyksikkö, jossa voitaisiin vahvistaa Kymenlaakson biotalouskärkeä. BioSammon siirryttyä osaksi Xamkia saatiin yksikkö, jossa on sopiva ympäristö ja valmiudet vahvistaa maakunnallista TKI-toimintaa.

## **YHTEISTYÖLLÄ ETEENPÄIN**

BioSammon toiminnan kehittäminen osana Xamkin toimintaa on alkanut vahvasti: yritysten kiinnostus ja samalla arvostus tutkimusyksikköön on noussut amk-statusuksen myötä. Yrityksiltä on tullut yhteistyöehdotuksia muun muassa puun kuivatislaustutkimuksen osalta, uudenlaisen hybridipyrolyysiteknologian pilotoinnista ja testauskäytöstä sekä eri materiaalien hiiltoon liittyen. Menetelmät pitää testata ja tuotteistaa, jotta ne olisivat kaupallisesti kannattavia. Oikeiden kumppanien ja valintojen tekeminen on oleellista, ja BioSammon rooli alueellisena yritysten kiertotalouden edistäjänä edellyttää toimintaympäristön kehittämistä ja aiheisiin liittyvien perusselvitysten tekemistä.

Kehittämisen keskeisinä teemoina ovat kiertotalouden menetelmien kannattavuuden ja ympäristövaikutusten tutkiminen. Tähän Xamkissa panostetaan, ja BioSampoa kehitetään lähivuosina vahvasti unohtamatta olemassa olevia hyviä koulutussuhteita ammattiopiston ja ammattikorkeakoulun välillä.

## **LÄHTEET**

FCG Konsultointi: Kouvolan ammatillisen koulutuksen selvitys. Raportti 12.5.2016.

Kestävää kasvua biotaloudesta, Suomen biotalousstrategia. 2014. Viitattu 3.10.2017. ([http://biotalous.fi/wpcontent/uploads/2014/07/Julkaaisu\\_Biotalous-web\\_080514.pdf](http://biotalous.fi/wpcontent/uploads/2014/07/Julkaaisu_Biotalous-web_080514.pdf))

Kymenlaakson älykkään erikoistumisen RIS3-strategia 2016–2020. ISBN 978-952-5987-61-4 (PDF). 2016. Viitattu 11.10.2017. (<http://www.kymenlaakso.fi/attachments/article/3954/Kymenlaakso%20RIS3-strategia%202016-2020.pdf>)

Tallinen Kirsi ja Tuliniemi Erja (toim.). TKI-ENERGIAKESKITTYMÄ – kädet ja aivot yhdessä. Tehokkaampaa kehittämistoimintaa resursseja yhdistäen. Xamk kehittää 12. KAAKKOIS-SUOMEN AMMATTIKORKEAKOULU, MIKKELI 2017. ISSN 2489-3102 (verkkojulkaisu).



# KYMENLAAKSON RIS3-BIOTALOUS-STRATEGIAN TOIMEENPANO

Tuomo Kauha & Ville Rätty & Kirsi Tallinen

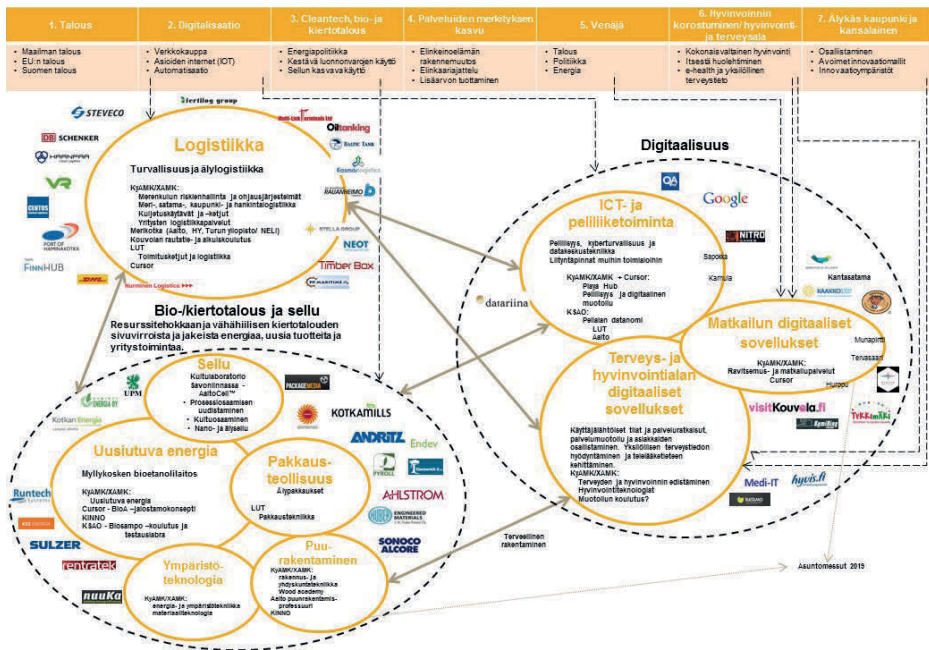
Kymenlaaksossa on selvitetty alueen vahvuuksia ja luotu strategia (Kymenlaakson RIS3), jolla tutkimus-, kehittämis- ja innovaatiotoimintaan on nostettu esiin kärkialat, joilla näytäisi olevan alueellisesti parhaat mahdollisuudet kehittyä ja joiden kehittämiseen kannattaa erityisesti panostaa. Biotalous on yhtenä valittuna kärkenä, ja biotalouden edistämistyö maakunnassa on aloitettu yritysasiantuntijaryhmien kokoamisella ja kehittämistarpeiden selvittämisellä. Tavoitteena on yhteistyön, kestävän kasvun sekä kansainvälisyyden edistäminen.

Biotaloutta edistämään Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu päätoteuttajana ja Kouvolan Innovation osatoteuttajana saivat kesällä 2017 rahoituspäätöksen hankkeelleen Kymenlaakson biotaloustoimintaympäristön kehittäminen – KYMBIO Uudenmaan liitolta (käsittelijänä Kymenlaakson liitto) Euroopan aluekehitysrahastosta (EAKR). Hanketta toteutetaan 1.1.2017–31.3.2019.

## JOHDANTO

Suomen kansallisen biotalousstrategian tavoitteena on luoda uutta talouskasvua ja uusia työpaikkoja. Strategian johtajatuksena on, että Suomessa luodaan kilpailukykyisiä ja kestäviä biotalouden ratkaisuja maailmanlaajuisiin ongelmiin ja synnytetään sekä kotimaahan että kansainvälisille markkinoille uutta liiketoimintaa, joka tuo hyvinvointia koko Suomelle. Nämä kaikki vaativat strategian mukaisesti muun muassa kilpailukykyistä biotalouden toimintaympäristöä sekä vahvaa biotalouden osaamisperustaa. (Kestävää kasvua 2014)

Kymenlaakson RIS3-strategia kuvaa maakunnan vahvuuksia ja erityisosaamista, joilla erottautua muista alueista (kuva 1). Strategia on myös keino markkinoida Kymenlaaksoa ja sen osaamista kansainvälisesti. RIS3-strategia muodostaa kaikille toimijoille yhteisen vision, viitekehyksen ja tavoitteet maakunnan kehittämishankkeiden ja innovaatiotoiminnan toteuttamiseen. Talouden kehittämisessä ja uudistamisessa keskeisellä sijalla on vahva rahallisen tuen kohdentaminen tutkimus-, kehitys- ja innovaatiotoimintaan. Strategian toteuttamisen pitkän aikavälin tavoitteena on kansainvälisyys ja alueiden välinen hankeyhteistyö älykkään erikoistumisen teemojen puitteissa. Kymenlaaksossa vahvuusaloiksi valikoituivat biotalous, digitalisaatio ja logistiikka.



**Kuva 1.** KYMENLAAKSON INNOVAATIO- JA TUTKIMUSSTRATEGIA RIS3-strategia 2016–2020. Systemikuvaus (kuva Kymenlaakson älykkään 2016, liite).

## BIOTALOUDEN RIS3 JALKAUTTAMINEN

RIS3-strategia on työväline, jolla tutkimus- ja kehitystoiminta sekä alueellinen päätöksenteko pystytään tehokkaasti yhdistämään palvelemaan alueen kestävää kasvua. EU:n käsikirjan ”Implementing Smart Specialisation Strategies” mukaan yrityskontaktit ja alueen yritystoiminnan tuntemus antavat avaimen yrittäjien systemaattiseen kytkemiseen lähtökohtaisesti mukaan alueelliseen kehittämiseen sekä kestäväan ja tulokselliseen kasvuun ja alueen kilpailukykyyn. Käsikirjan mukaan kyseessä on niin sanottu EDP-sykli, ”The Entrepreneurial Discovery Process”, jolla eri prioriteetit tunnistetaan, valitaan ja tuodaan strategiseen päätöksentekoon ja toteutukseen. (Implementing Smart 2016)

Maakuntaliitto nimesi kesällä 2016 toimijat, jotka alkoivat koota eri strategiakärkien (biotalous, logistiikka ja digitalisaatio) asiantuntijaryhmiä luoden pohjaa RIS3-toimeenpanoon. Biotalous asiantuntijaryhmän kokoajaksi valittiin elinkeino-yhtiö Kouvola Innovationin (Kinno) kehittämispäällikkö Vesa Junntila, jonka työpariksi tuli ammattikorkeakoulun tutkimuspäällikkö Kirsi Tallinen. Biotalous osalta jalkauttaminen lähti nopeasti käyntiin, ja kehittämispäällikön johdolla saatiin samaksi syksyksi jo kootuksi alueen yrityksiä edustava asiantuntijaryhmäkokoitus, jossa esiteltiin RIS3-toimintaa ja sen tavoitteita. Syksyllä koottiin myös ensimmäiset kehittämisideat asiantuntijaedustajia haastatteleamalla. Nämä ideat olivat suuntaamassa RIS3-toimintaa.

Toiminta sai useita alueen kehittämistä kiinnostuneita yrityksiä mukaan eri tilaisuuksiin, joissa luotiin vahva pohja yhteisille tarpeille ja Kymenlaakson biotaloustoimintaympäristön kehittäminen – KYMBIO -kehittämishankkeelle.

## **KYMENLAAKSON BIOTALOUSTOIMINTAYMPÄRISTÖN KEHITTÄMINEN – KYMBIO**

KYMBIO-hankkeessa tehtävät toimet alueen RIS3-biotalousstrategian jalkauttamiseksi ovat muun muassa yritysten kehittämistarpeiden selvittäminen ja arviointi, verkostojen rakentaminen, osaamiskapeikkojen tunnistaminen ja tunnustaminen sekä ratkaisujen etsiminen osaamistason nostoon. Toimet tukevat toimintaympäristön kehittämistä ja edistävät alueen elinvoimaisuutta sekä lisäävät kansainvälisiä toimintamahdollisuuksia, jotka sopivat erityisen hyvin biotalouden osalta EU:n, Suomen, maakunnan, kaupunkien ja yritysten tavoitteisiin. Tarve kehitysyhteistyölle on merkittävä, sillä yksittäisten toimijoiden resurssit eivät riitä esimerkiksi kansainväliseen kehitystyöhön, vaan tarvitaan vahvaa yhteistyötä eri osa-alueilta. Tarvitaan myös riittävät resurssit ja osaamista, joiden avulla saadaan parempi tulosten vaikuttavuus. Tutkimusteemat kehittyvät tällä hetkellä nopeasti erilaisten yhteiskunnan vaatimusten, kuten lainsäädännön ja toimintaympäristön muutosten, vuoksi.

Tutkimusteemoihin liittyvistä uusista innovaatioista haetaan kasvua ja osaamisen kehittymistä koko Kymenlaakson alueelle maakuntaohjelman mukaisesti. Hankkeessa tehdään monitieteellistä yhteistyötä yli tutkimusteemojen ja eri oppilaitosten, yritysten ja muiden organisaatioiden kesken. Hanke mahdollistaa biotalousjärjen systemaattisen kehittämisen yrityksiä sekä maakunnan kaupunkeja hyödyttävällä tavalla vastaten alueen ja sen kuntien strategioihin niiltä osin, joilla pyritään edistämään biotaloutta.

### **KYMBIO KOKOAJANA**

KYMBIO-hankkeessa eri osaajat ja toimintaympäristöt kootaan samaan verkostoon ja toimitaan yhdessä jokaisen vahvuudet huomioiden sekä toimintaa strategisesti kehittäen. Kehittämisessä huomioidaan muun muassa Kouvolan seudun ammattiopistolta (KSAO) elokuussa 2017 Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulun (Xamk) hallintaan siirtyneen BioSampo-ympäristön tuomat mahdollisuudet, ammattiopisto–amk-yhteistyö koko maakunnassa, Xamkin tutkimus- kehitys- ja innovaatiotoiminnan (tki-toiminnan) ja palvelujen kehittäminen sekä toiminnan laajentaminen Kymenlaaksossa yritysten ja aluekehittämis- tarpeiden näkökulmasta. Lisäksi edistetään yhteistyötä Xamkin Etelä-Savon kampuksiin ja hyödynnetään siellä olevat mahdollisuudet siltä osin, miten voidaan vahvistaa Kymenlaakson biotaloustoimintaympäristöä. Tiivis yhteistyö oppilaitosten ja yritysten sekä erityisesti alueen elinkeino-yhtiöiden kanssa varmistavat, että toiminta on ja pysyy yritysorientoituneena.

Kymenlaakson aluetoimijoiden osaamisen kehittämiseen liittyvien tarpeiden kartoittaminen ja tarpeisiin vastaaminen palvelevat vahvasti biotalousalan toimintaa ja toimijoita. Myös

aihealueeseen liittyvien toimintojen (mm. toimijaverkostot ja kehityshankkeet) esiin nostaminen edesauttavat toimintaympäristön kehittymistä. Tätä varten hankkeessa tehdään myös yhteistyötä muiden kehityshankkeiden, kuten KymiExactin (koulutuksen kehittämishanke) sekä Resurssitehokkaat teolliset symbioosit -hankkeen (kiertotaloutta edistävä kehittämishanke), kanssa.



*Kuva 2. Biotalouden asiantuntijoita yhteisessä tilaisuudessa 21.9.2017 (kuva Ville Rätty).*

## **KEHITTÄMISIDEAT TEEMARYHMITÄIN**

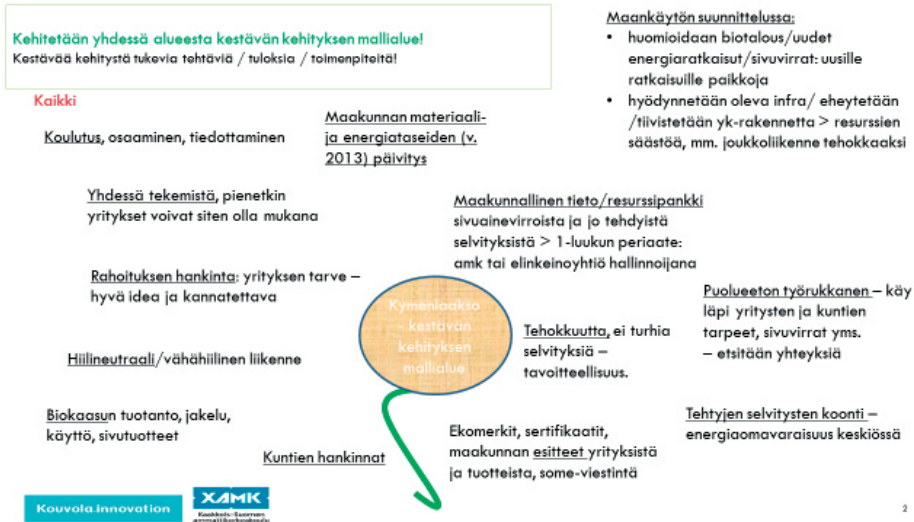
Hankkeessa on koottu parinkymmenen henkilön biotalouden asiantuntijaryhmä, jossa on toimijoita erilaisista ja erikokoisista yrityksistä (kuva 2). Ryhmän koko elää jatkuvasti: tulee uusia, aktiivisia yrityksiä aiheineen mukaan, ja toisaalta henkilöstö yrityksissä vaihtuu, jolloin toimijat ryhmässäkin osin vaihtuvat. Tämä dynaamisuus mahdollistaa jatkuvan kehittymisen ja suuntaa tarvittaessa toimintaa uusille aihealueille esiin nousevien tarpeiden mukaan.

Yrityksiltä kerättyjen kehittämisideoiden läpikäynti ja niiden mahdollisuuksien arviointi ja toiminnan edistäminen on hankkeen yksi merkittävä tehtävä. Kehittämisideoista on koottu neljä teemaryhmää:

- 1) Kiertotalous: sivuvirtojen joustava hyödyntäminen
- 2) Kestävän asumisen kehittäminen

- 3) Pakkausten arvoketjujen kehittäminen
- 4) Energiaomavarainen, vähähiilinen maakunta.

Teemaryhmistä nostetaan esiin aiheita, joista tehdään tarpeiden mukaisia selvityksiä ja toisaalta kehitetään ideoita laajemmiksi kokonaisuuksiksi, jotta voidaan edistää niin toimintatapoja kuin pilotoida uusia ratkaisuja (kuva 3).

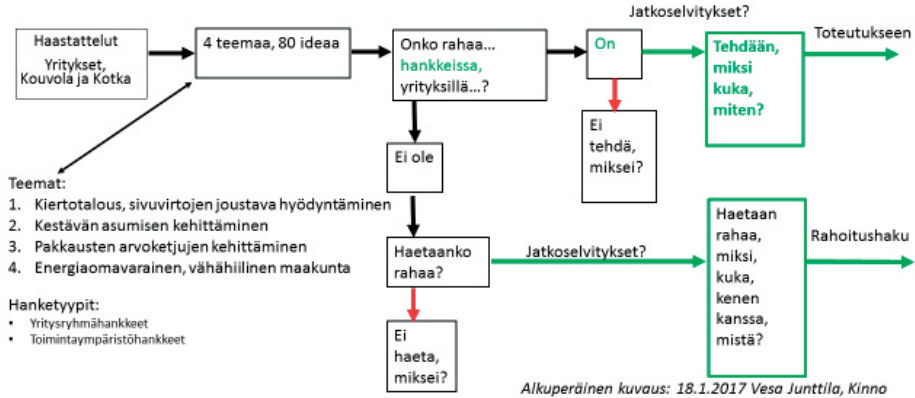


**Kuva 3.** Energia-teemaryhmässä esiin nousseita kehittämisajatuksia (kuva Kirsi Tallinen).

Hankkeen aikana joudutaan tekemään jonkin verran priorisointia mukana olevista aiheista, mutta kuitenkin toimintaa pyritään jatkamaan kaikissa teemaryhmissä. Tärkeiksi kehittämisaiheiksi hankkeen ohjausryhmä on nostanut biokaasutuotannon ja erityisesti siihen liittyvät hyödyntämättömät raaka-aineet. Tärkeänä aihealueena nähdään myös hidas pyrolyysiprosessi, jossa erityisesti aktiivihiili on lupaava tuote. BioSammon Xamkiin siirtymisen myötä on eri yrityksistä tullut runsaasti yhteydenottoja hitaisiin pyrolyysiprosesseihin liittyen.

Pakkausten osalta Kymenlaakson pakkausklusterin toiminnan jatkaminen ja aktivointi on yksi KYMBIO-hankkeen päämäärinä, jota toteutetaan muun muassa edistämällä yritysten verkottumista ja toimintaedellytyksiä tapahtuma- ja oppilaitosyhteistyön kautta. Lisäksi esimerkkeinä voidaan mainita tehdasintegrateissa tehtävien hyödynnettävien käyttämättömien lämpövirtojen määrän, laadun ja mahdollisten käyttökohteiden selvittäminen tavoitteena löytää soveltuva menetelmä lämpövirtojen hyödyntämiseen. Toisaalta vähähiiliseen maakuntaan pyritään kehitystyössä, jossa kuntien hankintamenettelyjen kautta ohjataan ja autetaan yritysten toimintaa kohden kestävä kehityksen ja vähähiilisyys tavoitteita. Kuvassa 4 on esitetty biotalousjärjen eteneminen.

## Kymenlaakson RIS3, biotalouskärki, etenemismalli 2017



**Kuva 4.** Biotalouskärjen eteneminen (kuva Vesa Junttila).

## YHTEENVETO

KYMBIO-hanke toimii eräänlaisena sateenvarjohankkeena, jonka avulla edistetään biotalousalan kehittymistä alueellisesti. Yritysryhmien kokoaminen, ideoiden koonti ja jalostaminen sekä tiedon jakaminen ovat hyvällä alulla. Kehitystyön edistämiseksi ja osaamisen lisäämiseksi hanke muun muassa tiedottaa tulossa olevista biotalouden tapahtumista sekä järjestää tarpeenmukaisia tapahtumia yksin tai yhteistyössä muiden toimijoiden kanssa. Verkottuminen ja verkottaminen on jo koettu tärkeäksi yritysten näkökulmasta.

Kansainvälisyys, kansainvälisten biotalousalalla toimivien kumppanien esiin nostaminen ja kehitystyön edistäminen kansainvälisessä kontekstissa ovat myös tärkeissä rooleissa, sillä alueelliset rahoitukset TKI-toimintaan vähenevät ja kilpailu kansainvälisestäkin rahoituksesta kiristyy. Kansainvälisen toiminnan edistämiseksi hankkeessa kartoitetaan maakunnan kehittämisen kannalta keskeiset alueen toimijoilla olevat kansainvälisesti suuntautuneet sekä kansainväliset verkostot ja pyritään tunnistamaan myös uusia toimijoita.

## LÄHTEET

IMPLEMENTING SMART SPECIALISATION STRATEGIES. A Handbook. ISBN 978-92-79-60978-7 (PDF). 2016. Viitattu 13.10.2017. <http://s3platform.jrc.ec.europa.eu/documents/20182/154972/Implementing+Smart+Specialisation+Strategies+A+Handbook/2a0c4f81-3d67-4ef7-97e1-dcbad00e1cc9>

Kestävää kasvua biotaloudesta – Suomen biotalousstrategia. 2014. Viitattu 3.10.2017. ([http://biotalous.fi/wpcontent/uploads/2014/07/Julkaisu\\_Biotalous-web\\_080514.pdf](http://biotalous.fi/wpcontent/uploads/2014/07/Julkaisu_Biotalous-web_080514.pdf))

Kymenlaakson älykkään erikoistumisen RIS3-strategia 2016–2020. ISBN 978-952-5987-61-4 (PDF). 2016. Viitattu 11.10.2017. (<http://www.kymenlaakso.fi/attachments/article/3954/Kymenlaakso%20RIS3-strategia%202016-2020.pdf>)

# HETEROGEEENINEN BIOLENTOTUHKA JA SEN HYÖDYNTÄMINEN – HAVAINTOJA ET-HANKKEESSA

Eveliina Kuokkanen & Anne Gango

Bioperäisten polttoaineiden poltosta muodostuva lentotuhka on partikkelikooltaan ja kemialliselta koostumukseltaan vaihtelevaa materiaalia. Tuhkan koostumukseen vaikuttavat muun muassa poltossa käytettävät biomassat, niiden alkuperät ja osuudet tuhkassa, polttolämpötila, kattilatyyppi sekä lentotuhkan talteenottomenetelmä. Eri tekijöistä johtuen lentotuhka sisältää vaihtelevan määrän ravinteita ja hivenaineita mutta myös haitallisia aineita, joiden erottaminen tuhkasta on oleellista tuhkan lannoitekäytön kannalta.

Lentotuhkan heterogeenisuus on tullut esille myös Erotustekniikan tutkimuskeskus -hankkeessa (ET-hanke, 1.6.2016–31.5.2018), jossa lentotuhkaa erotellaan kahteen raekokoon pyrkimyksenä tuottaa tuhkakomponentti osaksi BioA-konseptin mukaista peltolannoitetta. Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulun hallinnoimassa hankkeessa osatoteuttajana on Kotkan-Haminan seudun kehittämissyhtiö Cursor Oy. Päärahoittajana toimii Euroopan aluekehitysrahasto.

## JOHDANTO

Suomen voimalaitoksissa syntyy vuosittain noin 1 600 000 tonnia tuhkaa, josta reilu kolmannes (600 000 tonnia) muodostuu turpeen ja puun poltosta (Antikainen 2014, 5). Osa puu- ja turvetuhkasta hyödynnetään esimerkiksi maarakennuksessa tai metsälannoitteena, mutta iso osa tuhkasta päättyy kuitenkin loppusijoitusalueille (Ojala 2010, 1). Liian korkeat raskasmetallipitoisuudet saattavat estää energiantuotannon sivutuotteena muodostuneen lentotuhkan hyötykäytön. Esimerkiksi maataloudessa käytettävässä tuhkalannoitteessa saa olla kadmiumia enintään 2,5 mg/kg kuiva-aineessa (Maa- ja metsätalousministeriön asetus 24/11, 24). Ravinteikasta bioperäistä tuhkaa on kuitenkin mahdollista esikäsitellä vastaamaan maa- ja metsätalousministeriön lannoiteasetusta.

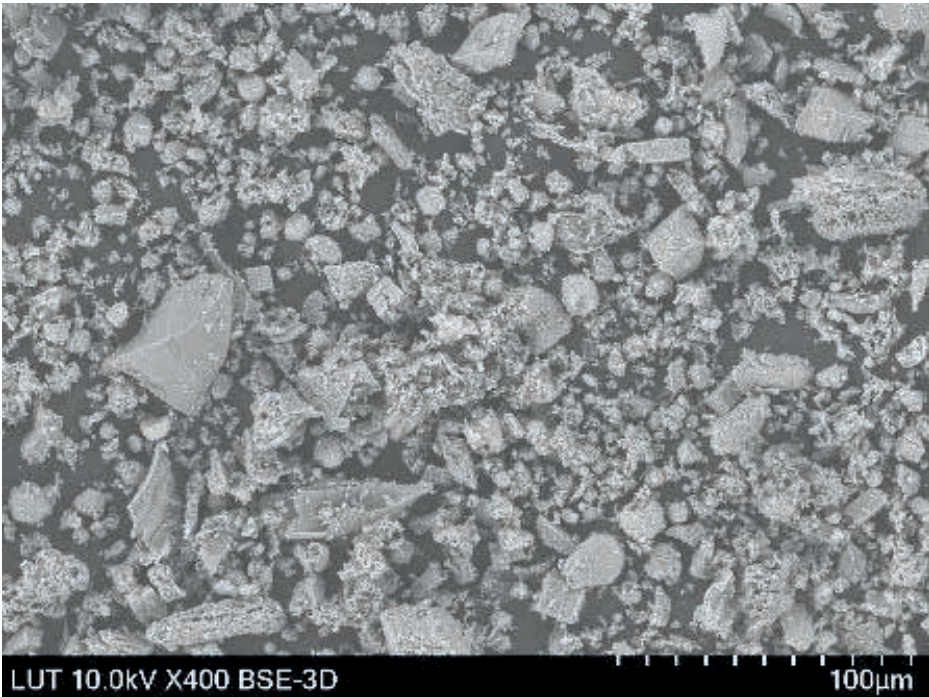
Erotustekniikan tutkimuskeskus -hankkeessa erotellaan bioperäistä lentotuhkaa hienoon ja karkeaan jakeeseen. Käsittelyn avulla tuhkasta on mahdollista saada osa BioA-konseptin mukaista peltolannoitetta. Eroteltava lentotuhka on koostumukseltaan vaihtelevaa, mikä vaikuttaa muun muassa hankkeessa tehtävien erotusajojen ajoparametreihin.



## TUHKAN KOOSTUMUKSEEN VAIKUTTAVAT TEKIJÄT

Energiantuotannon sivutuotteena voimalaitoksissa syntyvä tuhka jakautuu poltto­prosessissa pohja- ja lentotuhkaan. Pohjatuhka jää raskaampana jakeena tulipesään lentotuhkan kulkeutuessa savukaasujen mukana hiukkasten talteenottojärjestelmään. Savukaasuja puhdistetaan esimerkiksi sähkö- ja putkisuodattimilla, joilla lentotuhka saadaan kerättyä talteen.

Tuhkan koostumukseen vaikuttavat useat eri tekijät, joita ovat muun muassa käytetyt polttoaineet ja niiden seossuhteet, polttoparametrit, poltossa käytetty kattilatyyppi ja lentotuhkan talteenottomenetelmä (Korpilahti 2004, 7; Skrifvars & Hupa 2002, 270). Edellä esitetyt asiat huomioiden hyödynnettävän lentotuhkaerän kemiallinen koostumus ja partikkelikokojakauma vaihtelevat eri voimalaitosten välillä sekä saman voimalaitoksen sisällä. Kuvassa 1 on SEM-kuva biopohjaisen raaka-aineen poltossa syntyneestä lentotuhkasta.



*Kuva 1. SEM-kuva eräästä ET-hankkeen tuhkaerästä (kuva LUT/Toni Väkiparta).*

## TUHKAN SISÄLTÄMÄT ALKUAINET JA NIIDEN MERKITYS

Korpilahden (2004, 19) mukaan puun lentotuhkassa fosforia on keskimäärin 14,4, kaliumia 38, kalsiumia 233 ja magnesiumia 22 g/kg k.a. sekä booria 295 ja kadmiumia 16,3 mg/kg k.a. Turvetuhkassa on keskimäärin vähemmän edellä mainittuja alkuaineita. Tyypeä

ei tuhkassa juurikaan ole, sillä polttoprosessin aikana sitä poistuu ilmaan muun muassa typpimonoksidina (Kilpinen 2002, 321; Huotari 2012, 23). Biotuhka on muodostuessaan hyvin emäksistä, mutta ajan kuluessa sen pH-arvo laskee hiilidioksidin ja kosteuden vaikutuksesta. Biotuhkien emäksisyys johtuu muun muassa sen sisältämästä kalsiumista. (Korpijärvi ym. 2009, 19, 21).

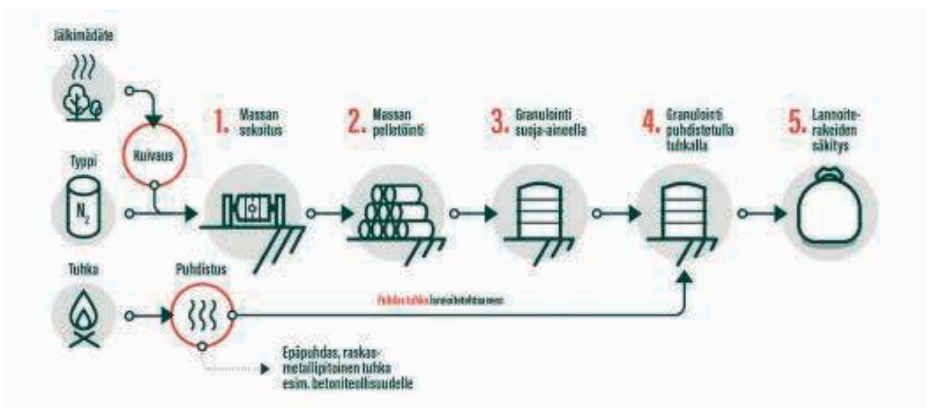
Bioperäinen tuhka sisältää ravinteita, kuten fosforia ja kaliumia, jotka ovat kasvien kasvun kannalta tärkeitä. Poltossa syntyneen tuhkan hyödyntämistä peltolannoitteena estävät usein tuhkan sisältämät raskasmetallit, yleisimmin liian korkeat kadmium- ja arseenipitoisuudet. Raskasmetallien pitoisuudet tuhkassa voivat olla varsin pieniä, mutta tuhkien hyödyntäminen saattaa kuitenkin edellyttää esikäsitteilyä juuri raskasmetallien haitallisuuden vuoksi.

## **TUHKAN HYÖDYNTÄMINEN OSANA PELTOLANNOITETTA**

ET-hankkeen päätavoitteena on käsitellä lentotuhkaa, jotta se on riittävän puhdasta hyödynnettäväksi osana kierrätyspeltolannoitetta. Tuhkan erotustyötä ohjaavat lannoitelainsäädännön (Maa- ja metsätalousministeriön asetus 24/11, 24) määrittämät haitta-aineiden enimmäispitoisuudet, jotka on määritelty myös tuhkalannoitteelle. Oleellinen osa hanketta on näin ollen tietää tuhkan sisältämät alkuaineet käsittelemättömässä tuhkassa sekä erotelun jälkeisissä tuhkakakeissa, hienossa ja karkeassa tuhkassa.

Useissa tutkimuksissa on havaittu, että tuhkan isoimmat partikkelit eivät sisällä yhtä paljon raskasmetalleja kuin tuhkan hienempi osuus (Korpijärvi ym. 2009, 20; Orava ym. 2006, 1600; Camerani ym. 2002, 1745). Vastaavia tuloksia on saatu ET-hankkeen koeajoissa, joissa lentotuhka on eroteltu kahteen raekokoon: hienoon ja karkeaan. Erottamalla hienempi jae karkeasta tuhkakakeesta on mahdollista saada aikaan riittävän puhdas tuhkakomponentti BioA-konseptin mukaiseen peltolannoitetuotantoon.

Kuvassa 2 on esitetty BioA-konseptin mukaisen peltolannoitteen tuottaminen. ET-hankkeen osuus on kuvan kohdassa ”Puhdistus”.



*Kuva 2. BioA-konseptin mukaisen peltolannoitteen tuottaminen (kuva BioA 2017).*

Alkuainepitoisuuksien lisäksi ET-hankkeessa on kiinnitetty huomioita lentotuhkaerien partikkelikokoihin ja kokojakaumiin, jotka voivat olla hyvin vaihtelevia riippuen tuhkan alkuperästä. Tuhkan heterogeenisuus vaikuttaa tuhkan erotusajojen toimivuuteen, minkä vuoksi erottelulaitteiston ajoarvoja on säädettävä tuhakohtaisesti. Tuhkan heterogeenisuus näkyy selkeästi aiemmin esitetystä kuvasta 1, joka on otettu eräästä ET-hankkeen tuhkaerästä.

## SEM-EDS-MITTAUKSIEN TULOKSIA

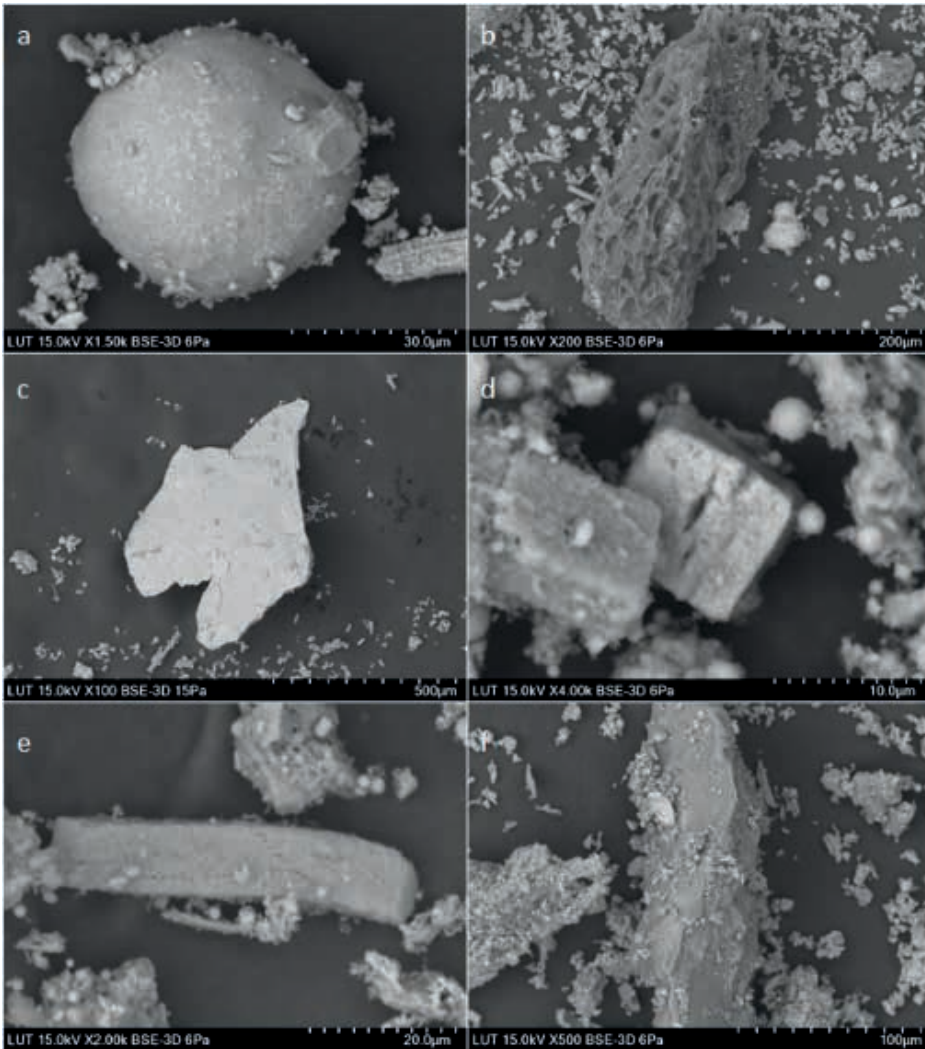
Hankkeessa käsiteltävät lentotuhkat ovat peräisin alkuperältään vaihtelevan biomassan poltosta. Iso osa käytetyn polttoaineen massasta on puuperäistä. Lentotuhkaa on analysoitu SEM-EDS-mittauksilla (Scanning Electron Microscope – Energy Dispersive Spectrometer) Lappeenrannan teknillisessä yliopistossa (LUT). Analyyseissä saatuja tuloksia on esitetty taulukossa 1 ja kuvissa 1 ja 3.

Kuvassa 3 on tuhkapartikkeleista otettuja SEM-kuvia, joiden alkuainepitoisuudet on esitetty taulukossa 1. Massaprosenteissa laskettuna partikkeleissa on eniten happea, hiiltä ja kalsiumia. Joissain partikkeleissa on merkittäviä määriä rautaa ja piitä. Huomioitavaa on, että hiilen osuuteen on voinut vaikuttaa hiiliteippi, johon näytteet kiinnitetään mittausta varten.

Kuvassa 3a on pallomainen partikkeli, joka on pääosin rautaa. Kuvassa 3b on palamatonta hiiltä. Hiilen SEM-kuva vastaa hyvin Girón ym. (2013, 75) julkaisemia kuvia eucalyptus-sukuisen puun poltossa palamatta jääneestä hiilestä. Kuvassa 3c on kiiltävä ja iso sydämenmuotoinen tuhkapartikkeli, jossa on piitä, rautaa ja alumiinia.

**Taulukko 1.** Kuuden tuhkapartikkelin alkuainepitoisuudet (lihavoituna kaksi suurinta pitoisuutta).

Alkuaine	Massa-%					
	Kuva 3a	Kuva 3b	Kuva 3c	Kuva 3d	Kuva 3e	Kuva 3f
C	8,9	67,0	9,6	10,3	10,4	25,9
O	37,4	16,2	44,1	34,2	37,4	42,0
Na	5,0	0,7	-	0,5	0,8	5,0
Mg	1,0	0,9	4,7	-	0,1	0,1
Al	2,3	0,2	8,3	-	0,2	5,0
Si	8,5	-	14,1	-	-	15,0
P	2,9	0,2	-	-	-	-
S	0,4	4,2	0,2	5,5	1,4	0,9
Cl	0,2	0,5	-	0,9	-	-
K	2,6	3,2	6,6	1,4	1,5	3,4
Ti	-	-	1,2	-	-	-
Mn	-	-	0,2	0,1	-	-
Fe	22,6	-	10,9	0,1	-	0,3
Ca	8,4	7,0	-	47,0	48,2	2,4

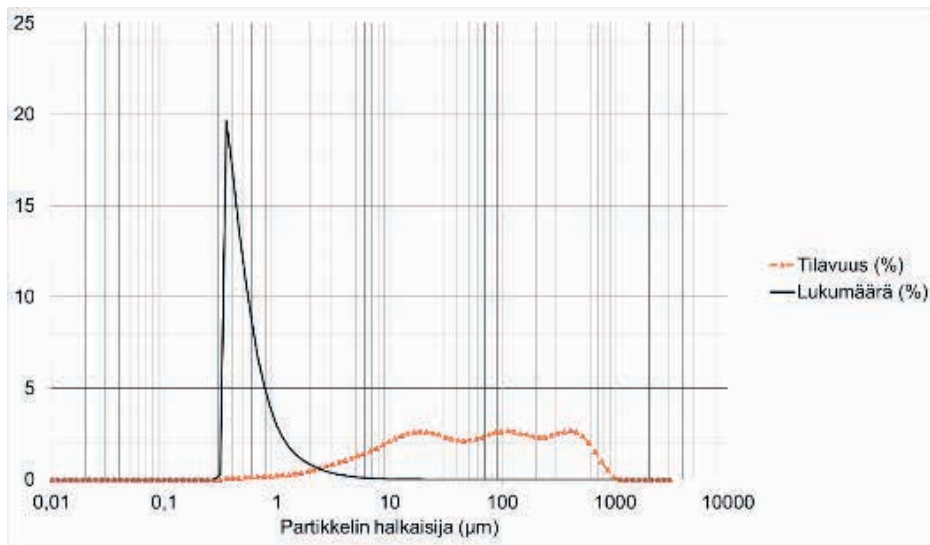


*Kuva 3. SEM-kuva tuhkapartikkelista (kuva LUT/Toni Väkiparta).*

Kuvien 3d ja e partikkelit ovat muodoltaan nelikulmaisia hiukkasia, joissa on noin puolet kalsiumia ja noin kolmannes happea. Kuvan 3f partikkelissa on hapen lisäksi hiiltä ja piitä. Kyseisen kuvan partikkelin pinnalla näkyy mahdollisesti pintaan kiinnittyneitä pienempiä hiukkasia. Vastaavaa voi nähdä muidenkin partikkelien kohdalla.

## PARTIKKELIKOON TULKINTAA - LUKUMÄÄRÄ JA TILAVUUS

ET-hankkeessa käsiteltävien tuhkien partikkelikoot tutkitaan koeajojen aikana. Nämä tulokset voidaan esittää lukumäärä- ja tilavuusjakaumana. Kuvassa 4 on esitetty yhden tuhkaerän partikkelikokojakaumat. Analyysit on suoritettu Mastersizer 3000 -laitteella. Tuloksista voidaan päätellä, että lukumäärällisesti suurin osa partikkeleista on pieniä, halkaisijaltaan alle 1 µm kokoisia. D50-arvo, näytteen mediaani, on lukumäärän suhteen 0,503 µm ja vastaavasti tilavuuden suhteen 47,9 µm. Suurikokoisimmat partikkelit muodostavat suurimman osan kokonaistilavuudesta, ja tämä on nähtävissä kuvan 4 tilavuusjakaumasta.



*Kuva 4. Erään tuhkaerän partikkelien tilavuus- ja lukumääräjakaumat.*

## YHTEENVETO

Biolentotuhka on heterogeenista niin partikkelikooltaan kuin kemialliselta koostumukseltaan. Biolentotuhkan heterogeenisuus tuo haasteita sen käsittelylle ja hyödyntämiselle peltolannoitteena, sillä esimerkiksi raskasmetallien osuus tuhkassa vaihtelee käytettyjen polttoaineiden mukaan. Nykypäivänä ravinteiden kierrätys nähdään osana kiertotaloutta, jonka mukaisesti pyritään käyttämään jo olemassa olevat raaka-aineet ennen neitseellisten raaka-aineiden käyttöönottoa. Erotustekniikan tutkimuskeskus -hankkeen tavoitteena on palauttaa biolentotuhkan sisältämät ravinteet takaisin kiertoon ja uudelleen kasvien käyttöön BioA-konseptin mukaisen peltolannoitteen kautta. Tämä on mahdollista tuhkan ominaisuuksien tuntemuksen ja sitä kautta tuhkan räätälöidyn käsittelyn avulla.

## LÄHTEET

Antikainen, J. 2014. Fosforin ja humuksen poisto vedenpuhdistuksessa tuhkapohjaisilla materiaaleilla. Oulun yliopisto. Kemian laitos. Pro gradu -tutkielma. PDF-dokumentti. Saatavissa: <http://jultika.oulu.fi/files/nbnfioulu-201504291428.pdf> [viitattu 19.10.2017]

BioA. 2017. WWW-dokumentti. Saatavissa: <http://bioa.fi/> [viitattu 19.10.2017]

Camerani, M. C., Steenari B-M., Sharma, R. & Beckett, R. 2002. Cd speciation in biomass fly ash particles after size separation by centrifugal SPLIT. Fuel 81 (2002), 1739–1753.

Girón, R.P., Ruiz, B., Fuente, E., Gil, R.R. & Suárez-Ruiz, I. 2012. Properties of fly ash from forest biomass combustion. Fuel 114 (2013), 71–77.

Huotari, N. 2012. Tuhkan käyttö metsälannoitteena. Metla. PDF-dokumentti. Saatavissa: <http://www.metla.fi/julkaisut/isbn/978-951-40-2371-2/tuhkan-kaytto-metsalannoitteena.pdf> [viitattu 19.10.2017]

Kilpinen, P. 2002. Luku 11. Typen oksidien muodostuminen ja hajoaminen. Teoksessa Raiko, R., Kurki-Suonio, I., Saastamoinen, J. & Hupa, M. (toim.) Poltto ja palaminen. Jyväskylä. International Flame Research Foundation. Suomen kansallinen osasto. 300–342.

Korpijärvi, K., Mroueh, U-M, Merta, E., Laine-Ylijoki, J., Kivikoski, H., Järvelä, E., Wahlström, M. & Mäkelä, E. 2009. Energiatuotannon tuhkien jalostaminen maanrakennuskäyttöön. VTT tiedotteita 2499. PDF-dokumentti. Saatavissa: <http://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2009/T2499.pdf> [viitattu 19.10.2017]

Korpilahti, A. 2004. Puu- ja turvetuhkan analysointi ja analyysituloksia. Metsätehon raportti 172. PDF-dokumentti. Saatavissa: [http://www.metsateho.fi/wp-content/uploads/2015/02/metsatehon\\_raportti\\_172.pdf](http://www.metsateho.fi/wp-content/uploads/2015/02/metsatehon_raportti_172.pdf) [viitattu 19.10.2017]

Maa- ja metsätalousministeriön asetus lannoitevalmisteista. Asetus 24/11. Saatavissa: <http://www.finlex.fi/data/normit/37638/11024fi.pdf> [viitattu 19.10.2017]

Ojala, E. 2010. Selvitys puu- ja turvetuhkan lannoite- sekä muusta hyötykäytöstä. Energiateollisuus. Motiva. PDF-dokumentti. Saatavissa: [https://www.metsakeskus.fi/sites/default/files/pictures/selvitys\\_puu-ja\\_turvetuhkan\\_lannoite\\_seka\\_muusta\\_hyotykytosta\\_energiateollisuus\\_2010.pdf](https://www.metsakeskus.fi/sites/default/files/pictures/selvitys_puu-ja_turvetuhkan_lannoite_seka_muusta_hyotykytosta_energiateollisuus_2010.pdf) [viitattu 19.10.2017]

Orava, H., Nordman, T. & Kuopanportti, H. 2006. Increase the utilisation of fly ash with electrostatic precipitation. Minerals Engineering 19 (2006), 1596-1602.

Skrifvars, B-J & Hupa, M. 2002. Luku 10. Tuhka, kuonaantuminen, likaantuminen ja korrosio. Teoksessa Raiko, R., Kurki-Suonio, I., Saastamoinen, J. & Hupa, M. (toim.) Poltto ja palaminen. Jyväskylä. International Flame Research Foundation. Suomen kansallinen osasto. 269–299.



# ENERGIATEHOKKUUTTA SUOMEN SATAMIIN

Anni Anttila & Minna Lindroos

Tehokkaat ja turvalliset merikuljetukset ovat edellytys Suomen toimivalle ulkomaankaupalle. Vuonna 2016 ulkomaankaupan merikuljetuksia oli yhteensä 88 miljoonaa tonnia, joita hoidettiin 45 eri satamasta. (Ulkomaan meriliikennetilasto, 12) Suomen satamat kilpailevat liikenteestä keskenään, mutta myös muiden liikennemuotojen kanssa. Kiristyvän kilpailun myötä satamien kilpailukykytekijät ja toiminnan kannattavuus korostuvat. Satamien omistusrakenteen muutos kuntaomistuksesta osakeyhtiöksi on tuonut enemmän itsenäisyyttä satamien päätöksentekoon, strategioihin ja strategiaisiin kumppanuuksiin. Pääsääntöisesti satamayhtiöt vastaavat sataman infrastruktuurin kehittämisestä, ylläpidosta ja markkinoinnista, ja yksityiset satamaoperaattorit tuottavat logistiikkapalveluita ja hoitavat lastinkäsittelyn. Satamayhtiöiden toiminnan kannattavuuteen voidaan vaikuttaa tarkastelemalla ja kehittämällä sataman sisäistä toimintaa, jossa energiatehokkuudella on merkittävä osuus. Suomen Satamaliiton vuonna 2016 toteuttaman jäsensatamien teemakyselyn mukaan kolme neljästä satamayhtiöstä on toteuttanut energiatehokkuutta parantavia toimenpiteitä osana satamayhtiön energiatehokkuusohjelmaa tai erillisinä toimenpiteinä (Suomen Satamaliitto).

Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu on tutkinut satamien ja satamatoimintojen energiatehokkuutta osana kansallista Vähähiiliset satamatoiminnot -hanketta. Yhtenä hankkeen tavoitteena oli luoda Suomen satamien käyttöön soveltuva energiaseurantamalli. Energiaseurantamallin tarkoituksena on antaa kokonaisvaltaisesti tietoa sataman eri kohteiden energiankulutuksesta, jolloin tietoa voidaan hyödyntää satamatoimintoja tarkasteltaessa ja viranomaisten edellyttämässä toiminnan raportoinnissa. Tässä artikkelissa on kuvattu Vähähiiliset satamatoiminnot -hankkeen tuloksia ja Suomen satamien käyttöön soveltuvan energiaseurantamallin tutkimus- ja kehitystyötä.

## VÄHÄHIILISET SATAMATOIMINNOT

Vähähiiliset satamatoiminnot -hankkeen laajempänä tavoitteena oli parantaa Suomen satamien eko- ja energiatehokkuutta sekä kehittää menetelmiä satamien ympäristövaikutusten vähentämiseksi. Hankkeen tutkimuskohteina olivat nesteytetyn maakaasun päästöt sataman kuljetusketjuissa, muut vaihtoehtoiset polttoaineet ja käyttömahdollisuudet sekä best practices -menetelmät satamien ympäristövaikutusten vähentämiseksi. Hankkeen merkittävänä kehityskohteena oli luoda Suomen satamiin soveltuva energiaseurantamalli ja suorituskyvyn mittaristo satamien ympäristövastuullisuuden arviointiin. Hanketta koordinoi Meriturval-

lisuuden ja -liikenteen tutkimuskeskus Merikotka, ja toteuttajina olivat Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu, Turun yliopiston Brahea-keskuksen Merenkulkualan koulutus- ja tutkimuskeskus sekä Turun ammattikorkeakoulu. Kaksivuotinen tutkimus- ja kehityshanke Vähähiiliset satamatoiminnot toteutettiin ajalla 1.4.2015–30.6.2017. Hanketta rahoittivat Euroopan Unionin aluekehitysrahasto, Kymenlaakson liitto, HaminaKotka Satama Oy, Loviisan Satama Oy, Kotkan kaupunki, Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu, Turun Yliopiston Brahea-keskuksen Merenkulkualan koulutus- ja tutkimuskeskus ja Turun ammattikorkeakoulu. (Vähähiiliset satamatoiminnot)

## **ENERGIATEHOKKUUDEN OHJAUSKEINOT SUOMESSA**

Suomen energiatehokkuusosaaminen on hyvällä tasolla, ja energiatehokkuuden ohjauskeinot ovat toteutuneet onnistuneesti verraten muuhun Eurooppaan. Vuoden 2012 joulukuussa voimaan tullut energiatehokkuusdirektiivi EED (2012/27/EU) velvoittaa laatimaan kansallisen energiatehokkuuden toimintasuunnitelman kolmen vuoden välein. Velvoite oli aiemmin jo energiapalveludirektiivissä (2006/32/EY), mutta energiatehokkuusdirektiivissä yksittäisten velvoitteiden toimeenpanon kuvauksilla painoarvo on suurempi.

Kansallinen energiatehokkuuden toimintasuunnitelma sisältää energiatehokkuuden tavoitteita ja säästöjä, kuten energiatehokkuusdirektiivin 7 artiklan mukaiset tavoitteet, ohjeellisen kansallisen vuoden 2020 tavoitteen energian loppukulutuksen absoluuttisesta tasosta sekä tavoitteet primääri- ja loppuenergian säästöistä. Toimintasuunnitelmassa on lisäksi Suomessa asetettuja energiatehokkuustavoitteita, kuten sektorikohtaiset erillistavoitteet liikenteen osalta ja politiikkatoimitasolla asetetut tavoitteet energiatehokkuussopimustoiminnalle. (NEEAP-3)

Suomessa yrityksiin ja yhteisöihin kohdistuu vapaaehtoisia ja lakiin perustuvia energiatehokkuuden ohjauskeinoja. Suurten yritysten energiakatselmusveloitteesta on säädetty Energiatehokkuuslaissa 1429/2014. Lakiin perustuen suuret yritykset ovat velvoitettuja yrityksen energiakatselmointiin neljän vuoden välein. Suureksi yritykseksi katsotaan yritys, jonka yhteenlaskettu henkilömäärä on yli 250, liikevaihto yli 50 M€ ja tase 43 M€. Määrittelyssä huomioidaan Suomessa rekisteröity konserni ja yritys, mutta myös sen ulkomailla omistamien yritysten henkilömäärät, liikevaihdot ja taseet. (Energiatehokkuuslaki) Energiakatselmusveloitteen piiriin kuuluvat vain Suomessa omistuksessa olevat yritykset. Suuren yrityksen pakollisista energiakatselmuksista voidaan kuitenkin vapauttaa ne yritykset, joilla on käytössä sertifioitu ISO 50001 -ympäristö- ja energiahallintajärjestelmä tai sekä sertifioitu ISO 14001 -ympäristöjärjestelmä että sertifioitu energianhallintajärjestelmä. (Energiakatselmusveloite)

Suomessa eri toimialoilla toimivia yrityksiä ja yhteisöjä kannustetaan sitoutumaan vapaaehtoiseen energiatehokkuussopimukseen, jotka edesauttavat saavuttamaan EU:n energiatehokkuusdirektiivin (EED) mukaisia tavoitteita energiankäytön tehostamisessa.

Sopimuksiin sitoutuneet asettavat määrällisen tavoitteen energiankäytöstä ja toimenpiteet tavoitteen saavuttamiseksi. Tavoitteena on ohjata yrityksiä ja yhteisöjä parempaan energiatehokkuuteen. Sopimuksiin sitoutuneet tahot voivat tapauskohtaisesti saada valtion tukea energiatehokkuusinvestointeihin ja energiatehokkaan teknologian käyttöönottoon. Sopimuksiin sitoutuneet tahot raportoivat vuosittain energiatehokkuutta parantavista toimenpiteistä seurantajärjestelmään, josta Suomessa toteutunut energiansäästö raportoidaan edelleen EU:lle. Vapaaehtoinen energiatehokkuusmenettely on Euroopassa vielä melko harvinaista, mutta Suomessa sitä on toteutettu tuloksellisesti 1990-luvulta lähtien. Uudet energiatehokkuussopimukset on solmittu vuosille 2017–2025, ja ne kattavat elinkeinoelämän, kiinteistöalan, kunta-alan ja lämmityspolttonesteiden jakelun.

Energian ja materiaalien tehokkaalla käytöllä on merkittävä vaikutus yrityksen tulokselliseen toimintaan. Energiatehokkuutta parantavilla toimenpiteillä voidaan aikaansaada merkittäviä säästöjä, jotka parantavat liiketoiminnan tulosta. Energiankäyttöä tehostavilla toimilla on myös ympäristövaikutus, sillä vastuullisen energiankäytön avulla voidaan vähentää hiili-dioksidipäästöjä ja torjua ilmastonmuutosta.

## **SUOMEN SATAMIEN KILPAILUKYKYTEKIJÄT**

Ulkomaankauppa ja sujuvat yhteydet Eurooppaan ja Venäjälle ovat merkityksellisiä Suomen taloudellisen hyvinvoinnin kannalta. Suurin osa ulkomaankaupan kuljetuksista tapahtuu meritse Suomen maantieteellisestä sijainnista johtuen. Vuonna 2016 Suomen satamien kautta kulki vienti- ja tuontitarvaliikennettä yhteensä 94,9 miljoonaa tonnia. (Ulkomaan meriliikennetilasto, 8) Ulkomaankaupan kuljetukset edellyttävät satamilta tehokasta logistiikkaa, toimivia kuljetusketjuja ja satamien hyvää palvelutasoa.

Sisävesisatamat mukaan lukien Suomessa on yhteensä 52 satamaa, joista valtaosa pieniä satamia. Liikenteestä 80 prosenttia tapahtuu kymmenen suurimman sataman kautta. (Liikennevirasto 17/2014,5) Liikenne- ja viestintäministeriön julkaisussa Satamatoiminnan kilpailukyky ja kehittämistarpeet 17/2014 on selvitetty satamatoiminnan nykytilaa, kilpailukykytekijöitä ja kehitysnäkymiä.

Suomen satamat käyvät keskinäistä kilpailua ulkomaankaupan kuljetuksista, mutta osittain myös kilpailua muiden liikennemuotojen kanssa. Transitokuljetuksissa kilpailua käydään muiden Itämeren alueen, erityisesti Venäjän ja Baltian maiden, satamien kanssa. Venäjälle ja Baltian maihin on viime vuosien aikana rakennettu uutta, modernia satama- ja lastinkäsittelykapasiteettia.

Satamatoiminta on kriittisessä roolissa erityisesti vientiteollisuuden toimitusketjussa ja kokonaiskustannuksena merkittävä osa kuljetusketjua. Sataman ja satamatoiminnan kilpailukyky ja kilpailukykytekijät vaikuttavat asiakkaan kuljetusreitin valintaan. Liiken-

neviraston selvityksessä 17/2014 on jaoteltu satamien kilpailukykyyn vaikuttavat tekijät satamien palvelutasoon ja kustannuksiin. Palvelutasotekijöitä ovat toimitusvarmuuteen ja kustannustehokkuuteen vaikuttavat laadulliset tekijät, joista merkittävimpiä ovat täsmällisyys, nopeus, turvallisuus, vaurioitumattomuus ja toimintavarmuus. Satamakustannukset sisältävät kuljetusketjun satamatoimintojen sekä sataman käyttöön liittyvät suorat ja välilliset kustannukset. Näitä kustannuksia ovat operaattoreiden ja satamayhtiön maksut, varustamon aluskustannus sekä viranomaismaksut. (Liikennevirasto 17/2014, 9–10)

Suomen satamien kilpailukykyyn vaikuttavat myös useat taustatekijät. Yksi merkittävä tekijä on omistusrakenteen muutos kunnallisista satamista osakeyhtiöiksi. Osakeyhtiömuotoinen liiketoiminta on lisännyt satamien itsenäisyyttä ja oman strategian kehittämistä sekä mahdollistanut erikoistumisen ja strategiset kumppanuudet. Muita kilpailukykyyn vaikuttavia taustatekijöitä ovat satamatyön kustannukset sekä sataman toimintavarmuus. Satamatyön kustannustaso on kohonnut 2000-luvulla, ja sillä on suora vaikutus operaattoreiden satamatyön hintaan. Satamien toimintavarmuuteen vaikuttavat työnseisaukset heikentävät kuljetusreitien luotettavuutta. Suomen satamien kilpailukykyyn haasteena nähdään myös merenkulkuun kohdistuva ympäristösääntely, joka aiheuttaa kuljetuskustannusten nousua. Satamien kilpailukykyinen toiminta edellyttää jatkuvaa kehittämistä ja investointeja infrastruktuuriin. (Liikennevirasto 17/2014, 11–12)

Satamien kilpailukykyä pohdittaessa on kiinnitetty varsin vähän huomiota satamatoimintojen ja satamasidonnaisen toiminnan energiatehokkuuteen. Kuitenkin sataman energiankulutuksen arvo voi kohota kulutuskohteista ja niiden lukumäärästä riippuen sadoista tuhansista aina useisiin miljooniin euroihin vuodessa. Kokonaisvaltaisesti tarkasteltuna satamien energiankulutus on suuri, jolloin energiatehokkuutta parantavilla keinolla voidaan saada aikaan säästöjä ja vaikuttaa suoraan toiminnan kannattavuuteen. Energiatarkastus satamatoiminta vähentää myös satamatoiminnoista johtuvia ympäristövaikutuksia, joten energiatehokkuus voidaan nähdä myös sataman kilpailukykytekijänä. Vähähiiliset satamatoiminnot -hankkeessa on ollut tavoitteena kehittää Suomen satamille soveltuva energiaseurantamalli, jonka avulla voidaan parantaa satamien energiatehokkuutta.

## **SUOMEN SATAMIEN ENERGIATARPEET**

Suomen satamien energiatarveselvityksen toteutti Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulun opiskelija Minna Lindroos opinnäytetyönään. Opinnäytetyötä ohjasivat energiatekniikan lehtori Hannu Sarvelainen ja Vähähiiliset satamatoiminnot -hankkeen projektipäällikkö Anni Anttila. Satamien energiatarveselvitys tehtiin energiaseurantamallin kehitystyön tueksi, ja työ aloitettiin kartoittamalla satamien merkittäviä energiakulutuskohteita lämpö- ja sähköenergian osalta. Kartoitus tehtiin tarkastelemalla eri satamatyyppisiä, sillä Suomen satamat ovat piirteiltään ja toiminnoiltaan hyvin erilaisia, eikä kahta täysin samanlaista satamaa ole.

Tarkastelussa satamat jaoteltiin Liikenneviraston vuonna 2012 tehdyn Merenkulun ja liikenteen hiilijalanjälki -selvityksen perusteella satamien kautta kulkevien henkilö- ja tavaravirtojen mukaisesti neljään ryhmään: matkustajasatamat, kappale- ja yksikkötavarasatamat, irtolastisatamat ja nestebulk-satamat. Tarkastelussa edettiin satamissa usein esiintyvien energiakulutuskohteiden selvittämisellä, kuten rakennukset, lastinkäsittelylaitteistot ja infrastruktuuriin liittyvät kulutuskohteet. Satamissa on koosta ja satamatyypistä riippuen erilaista lastinkäsittelylaitteistoa, rakennuksia ja jatkuvasti valaistavia alueita, jolloin energiavirratt vaihtelevat suuresti.

Kartoituksessa satamien energia- ja materiaali-intensiiviset prosessit jaoteltiin Liikenneviraston vuonna 2012 tehtyä selvitystä mukaillen rakentamiseen, käyttöön ja kunnossapitoon. Tarkastelussa keskityttiin satamien energia- ja materiaali-intensiivisiin prosesseihin vain käyttöön ja kunnossapitoon liittyen, sillä energiaseurantamalli on tarkoitettu ajantasaiseksi työkaluksi kuvaamaan energiavirtoja. Satamien nykytilannetta tarkastellessa rakentamisen aikaista energiatarvetta ei ole tarpeen huomioida.

Liikenneviraston Merenkulun ja liikenteen hiilijalanjälki -selvityksen tavoitteena on ollut selvittää merenkulun infrastruktuurin päästöjä Suomen tasolla sekä sitä, mitkä prosessit merenkulun infrastruktuurin rakentamisessa, käytössä ja kunnossapidossa aiheuttavat eniten päästöjä. Raportin perusteella merenkulun hiilijalanjälkeen vaikuttaa eniten käytön aikainen energiankulutus, ja suurin osa satamien ja väylien elinkaaripäästöistä syntyy myös käytönaikaisesta energiankulutuksesta. Satamien energiatehokkuuteen voidaan tehokkaimmin vaikuttaa valitsemalla energiatehokkaita työkoneita lastinkäsittelyyn, parantamalla kiinteistöjen energiankulutusta sekä hyödyntämällä mahdollisuuksien mukaan uusiutuvia energialähteitä. (Liikennevirasto 2012, 49)

Keskeinen muuttuja eri satamatyyppejä vertailtaessa oli liikennetyyppi, jota satama palvelee. Satamien infrastruktuuri eroaa merkittävästi liikennetyyppien osalta, ja eri liikennettä palvelevien satamien rakentamisen aikaiset päästöt, kuten myös kunnossapitotarpeet, ovat hyvin erilaiset. Satamien rakentamisessa ja kunnossapitotarpeissa on merkittäviä eroja matkustaja- ja tavaraliikennesatamia vertailtaessa. Käyttövaiheen päästöt vaihtelevat sen mukaan, kuljetetaanko henkilöitä vai tavaroita, eli kuinka paljon tarvitaan työkoneita, kuinka paljon kuluu sähköä ja kuinka paljon satamarakennuksia tarvitsee lämmittää. Raportissa todettiin, että rakentamisen ja kunnossapidon päästöt (mm. talvihoito) korreloivat enemmän satama-alueen koon kanssa, kun taas käytön aikaiset päästöt korreloivat liikennemäärän kanssa. (Liikennevirasto 2012, 36)

Vähähiiliset satamatoiminnot -hankkeen energiaseurantamallin kehitystyötä varten tehtiin tarkastelua erilaisista satamista liikennetyypistä riippuen. Näin saatiin konkreettista kuvaa satamien energiankulutuksesta ja -kulutuskohteista. Tarkastelukohteina olivat HaminaKotka Satama Oy:n Mussalon satamanosa, Loviisan Satama Oy, Porin Satama Oy,

Turun Satama Oy ja Kvarken Ports Vaasa. Näistä HaminaKotka Satama Oy ja Loviisan Satama Oy olivat mukana hankkeessa. Tarkastelua tehtiin vain sataman liikennetyypin ja infrastruktuurin suhteen, jotta saadaan kuvaa satamien tyypillisistä energiankulutuskoh-teista. Kaikki tarkastelussa olevat satamat olivat liikennetyypiltään hieman erilaisia, mutta yhteneviä piirteitä löytyi paljon. (Lindroos, M. A)

Satamien energiankäyttöön vaikuttavat monet muuttujat, mutta merkittävää energianku-lutukselle on myös vuodenaikojen vaihtelu. Sataman infrastruktuurin ylläpitäminen vaatii runsaasti energiaa, ja lähes jokaisessa satamassa on oltava jatkuvasti riittävä aluevalaistus turvallisten työolojen ja yleisen turvallisuuden takaamiseksi. Satama-alueet vaativat talvisin monenlaista sulanapitoa, kuten konttikentät, rautateiden vaihteet ja rampit. Sulanapito on erittäin tärkeää sujuvan ja turvallisen työskentelyn takaamiseksi. Useissa satamissa on laitureissa jäiden kertymistä estävä niin kutsuttu pulputusjärjestelmä. Pulputusjärjestelmä on hyvin yksinkertainen laiturin alla oleva putki, joka puhaltaa ilmakuplia laiturin reunaan. Järjestelmä estää jäiden pakkautumisen laituriin, mutta kuluttaa paljon sähköenergiaa. Laivat jättävät jätevetensä satamiin, ja ne usein pumpataan jätevesiputkistoja pitkin jatkokäsittelyyn. Laivoille myös jaetaan puhdasta vettä. Satamainfrastruktuuriin kuuluvat myös monet rakennukset, kuten laitetilat ja toimistorakennukset. Näiden lämmittäminen ja sähköistäminen vaatii energiaa. Tulevaisuudessa satamien sähkönkäyttö ja -tarve lisääntyy tiukentuvan ympäristölainsäädännön myötä. Useaan satamaan on jo suunnitteilla rakentaa maasähkönjakelukeskuksia. (Lindroos, M. A, 89)

Kun katsotaan satamaa kokonaisuutena, on satamassa toimivien operaattoreiden energi-ankulutus huomattavasti suurempaa kuin satamainfrastruktuurin. Useassa Suomen sa-tamassa nosturit, työkoneet, säiliöt, varastot ja useat muut sataman toiminnot kuuluvat operaattoreiden hallintaan, ja satamanpitäjälle kuuluu vain infrastruktuurin ylläpito. Ope-raattoreiden energiankulutus vaihtelee hyvin paljon toimialasta riippuen. Useassa satamas-sa operaattoreiden hallinnoimia merkittäviä sähkönkulutuskohteita ovat nosturit, kuten STS- ja AGD-nosturit, pumput ja mekaaniset kuljettimet sekä toimisto- ja varastotilat. Varastorakennukset ovat erilaisia keskenään; erityyppiset varastoitavat tuotteet vaativat omanlaisensa sisäilman ja lämpötilan, jolloin lämpöenergiankulutus vaihtelee suuresti. Varastoissa tulee olla myös riittävä valaistus, jotta työolosuhteet ovat turvallisella tasolla. Monet kemikaalit vaativat lämmitystä pysyäkseen juoksevina, joten niiden varastosäiliöitä ja putkistoja tulee lämmittää.

Sataman aluevalaistus ei ole kovinkaan suuri kuluttaja verraten koko sataman energian-käyttöön, mutta suuri kulutuskohde satamanpitäjälle. Erilaisilla ohjausjärjestelmillä on huomattava vaikutus energiankulukseen ja näin ollen myös säästöpotentiaaliin niin ener-giatehokkuuden kuin taloudellisuuden osalta. (Lindroos, M. A,90)

## **ENERGIATEHOKKUUDEN CASE-TUTKIMUKSET SATAMISSA**

Vähähiiliset satamatoiminnot -hankkeessa toteutettiin energiatehokkuustarkasteluja satamakohteissa ja satamasidonnaisissa yrityksissä energiaseurantamallin kehitystyön tueksi. Tässä artikkelissa kuvatut case-tutkimukset suoritettiin Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulun energiatekniikan opetuksen ja logistiikan TKI-yksikön yhteistyönä.

Energiatehokkuustarkasteluihin osallistuneet satamat ja yritykset saivat tarkastelujen tuloksena tietoa tarkasteltavien kohteiden energiankulutuksesta ja ehdotuksia energiatehokkuutta parantavista toimenpiteistä. Tarkastelut keskittyivät paineilma-, lämpö- ja virtausteknisten järjestelmien sekä kuumaöljyjärjestelmän energiakatselmointiin. Tarkasteltavat kohteet valittiin yhdessä kohdeyrityksen kanssa heidän toiveitaan ja tarpeitaan kuunnellen. Tarkasteluista saatuja tuloksia hyödynnettiin energiaseurantamallin kehitystyössä, ja niitä voidaan hyödyntää myös muissa yrityksissä ja satamissa. Satamissa ja satamasidonnaisissa yrityksissä paljon energiaa kuluttavat kohteet ovat hyvin samankaltaisia, joten esiin nousseet ehdotukset energiankulutuksen tehostamisesta ovat hyödynnettävissä myös laajemmin.

### **KUUMAÖLJYJÄRJESTELMÄN TARKASTELU JA HUOLTOTOIMENPIDEOHJELMA**

Kuumaöljyjärjestelmän tarkastelu ja huoltotoimenpideohjelma suoritettiin kohteessa, jossa käsitellään ja varastoidaan nestemäisiä tuotteita, kuten öljyjä ja kemikaaleja. Tuotteet edellyttävät usein korkeita käsittely- ja varastointilämpötiloja sekä paljon energiaa kuluttavaa lämmitysjärjestelmää. Lämmitysjärjestelmästä kuumaöljyjärjestelmä on teollisuudessa yleisesti käytössä oleva lämmitysjärjestelmä hyvän hyötysuhteensa vuoksi. Satamissa niitä tyypillisesti käytetään kohteissa, joissa tarvitaan korkeaa lämpötilaa, toimintavarmuutta ja rakenteeltaan yksinkertaista lämmitysjärjestelmää.

Vähähiiliset satamatoiminnot -hankkeessa tehtiin tarkastelu kuumaöljyjärjestelmän toiminnasta energiaseurantamallin kehitystyön tueksi, mutta myös kohdeyrityksen tarpeeseen kuumaöljyjärjestelmän energiatehokkuuden parantamiseksi. Kohdeyrityksessä oli tarkoitus ottaa käyttöön kokonaan uusi kunnossapidon tietojärjestelmä. Uuden järjestelmän käyttöönotto edellytti jo olemassa olevan tietokannan siirtoa vanhasta tietojärjestelmästä uuteen tietojärjestelmään. Samalla oli tarpeen luoda kattava kuumaöljyjärjestelmän huolto-ohjelma, joka sisältäisi järjestelmään kuuluvien kattiloiden ja laitteiden huollot, muut kunnossapitotoimet, vikaraportit ja määräaikaisten tarkastusten ajankohdat ja pöytäkirjat. Huolto-ohjelman avulla koko järjestelmää voidaan tarkkailla kokonaisvaltaisesti ja järjestelmällisesti. Lisäksi järjestelmään lisättyjen määräaikaisten tarkastusten ajankohdat auttavat tarkastusten suorittamisessa ajallaan säädettynä määräaikoina, sillä järjestelmä ilmoittaa tarkastuksen ajankohdan.

Huolto-ohjelman luomisen edellytyksenä oli saada selville kuumaöljyjärjestelmään kuuluvien laitteiden ja -kattiloiden yleiset ja tekniset tiedot sekä käytössä olevien kuumaöljylaatu- ja ominaisuudet. Lisäksi oli selvitettävä tiedot paine- ja maakaasulaitteista ja -putkistoista sekä niiden lakisäateisistä päätöksistä ja asetuksista.

Kuumaöljyjärjestelmän huolto-ohjelman tarkastus- ja huoltotoimien kokoamiseen käytettiin laitteiden valmistajien tyyppikohtaisten käyttö- ja ohjekirjojen lisäksi internetistä löytyvää lähdeaineistoa. Tietojen avulla saatiin koottua tarvittavia tarkastus- ja huoltotoimia, joita järjestelmän eri laitteille tulisi suorittaa säännöllisin väliajoin. Huolto-ohjelmaan sisällytettiin myös painelaitteille, maakaasulaitteille ja -putkistoille säädetyt viralliset tarkastukset. Kuumaöljyjärjestelmälle luotiin kootun aineiston perusteella ohje, josta käy ilmi järjestelmän eri osien tarvittavat huollot, tarkastukset ja suoritusintervallit. Tehty selvitystyö, aikataulutetut ja ennalta suunnitellut huolto- ja tarkastustoimenpiteet ovat nyt yrityksen hyödynnettävissä ja käytössä. Kaikki kootut tiedot voidaan lisätä uuteen kunnossapidon tietojärjestelmään halutussa muodossa huolto-ohjelmana, joka pitää sisällään järjestelmän eri laitteille määräajoin suoritettavat huolto- ja tarkastustoimet. Selvitettyjä tietoja käytettiin yrityksen luvalla hyödyksi satamien energiaseurantamallin kehitystyössä. Selvitystyön avulla saatiin kattavasti tietoa kuumaöljyjärjestelmien ja kemikaalioperaattoreiden toiminnasta. (Jääsmaa, J.)

## **PAINELMAJÄRJESTELMÄN KARTOITUS JA ENERGIATEHOKKUUSTOIMENPITEET**

Paineilmajärjestelmän toimintaa, uudistamistarvetta sekä energiansäästämismahdollisuuksia tarkasteltiin satamasidonmaisessa polymerointilaitoksessa. Paineilmaa laitoksella käytetään tuotteen pumppaamiseen prosessivaiheesta toiseen. Tarkastelun tavoitteena oli selvittää laitoksen paineilma-kompressoreiden ja kuivaimien uudistamistarve sekä niiden korvaaminen energiatehokkaammilla laitteilla. Tarkastelun yhteydessä selvitettiin myös vaihtoehtoja, energiatehokkaampaa pumppausmenetelmää.

Tarkastelu aloitettiin paineilmalaitteiston ja paineilma-verkoston yleiskartoituksella. Paineilmaverkosto on jaettu instrumentti- ja työilmaverkoksi, joiden kulutustiedot mitattiin yhteistyössä laiteomistajan kanssa. Paineilmaverkoston tarkastelussa selvitettiin mahdollisuuksia alentaa paineilmasäiliön painetta, paineilma-kuivainten uusimista ja vaihtoehtoisen uuden kompressorin hankintaa. Lisäksi tutkittiin paineilma-kompressorien tuottaman lämpöenergian hyödyntämismahdollisuuksia viereisten rakennusten lämmityksessä sekä energiansäästämismahdollisuuksia erilaisten pumppausmenetelmien välillä.

Selvityksen tuloksena löydettiin useita keinoja paineilma-järjestelmän energiatehokkuuden parantamiseksi. Tarkastelun tuloksena yritykselle esitettiin vaihtoehtoja energiatehokkuuden parantamiseksi. Ilman investointeja tehtäviä energiasäästöjä voidaan saavuttaa esimerkiksi



työilmaverkoston säädöillä. Työilmaverkostossa on suuri paineilmasäiliö, jonka painetasoa voidaan laskea ilman prosessin tai kompressorien häiriintymistä. Järjestelmässä olevien työilmakompressorien vaihtoa voisi harkita energiatehokkaampiin taajuusmuuttajaohjattuihin kompressoreihin, ja yleisesti kompressoreita uudistettaessa niiden sijoittelua kannattaa suunnitella uudelleen. Kompressorit tuottavat lämpöenergiaa, jota voidaan hyödyntää suoraan rakennuksen lämmityksessä. Paineilmajärjestelmässä myös paineilman kulutusta voitaisiin olennaisesti vähentää muuttamalla paineilmakäyttöisiä kalvopumppuja sähkökäyttöisiin, energiatehokkaampiin ruuvipumppuihin.

Energiatehokkuustarkastelun kohteena ollut yritys oli tyytyväinen tarkastelun tuloksiin ja aloitti energiatehokkuuden parannusehdotusten toteutuksen suunnittelun. Tarkastelusta saatiin myös arvokasta tietoa energiaseurantamallin kehitystyöhön. (Simonsson, M.)

## **TEHTAAN TUOTANNON LÄMPÖ- JA VIRTAAUSTEKNISTEN JÄRJESTELMIEN OPTIMOINTI**

Tuotantolaitosten tuotantoprosessit ovat merkittävä energiankulutuskohteet koko sataman energiatehokkuutta tarkasteltaessa. Pienikin energiatehokkuutta parantava toimenpide on merkityksellinen tuotantolaitoksessa, jossa lämpö- ja sähköenergian kulutus on vuositasolla suuri. Yhdeksi tarkastelukohteeksi valittiin kemikaalia tuottava tehdas, jossa tarkasteltiin lämmön tuoton ja jäähdytyksen energiatasetta ja selvitettiin mahdollisia energiatehokkuustoimenpiteitä. Tavoitteena oli selvittää keinoja, joilla tuotantoprosessiin tarvittavan maakaasun ja sähköenergian kulutusta voidaan pienentää. Työ aloitettiin sähkön ja maakaasun käytön kulutustrendin selvityksellä sekä nykytilan kartoituksella keräämällä prosessin historiatiedot viimeisten kolmen vuoden ajalta. Tehtaalla oli viimeisten kolmen vuoden aikana suoritettu joitakin energiatehokkuutta parantavia toimenpiteitä, jotka listattiin ja lisättiin kulutustrendien diagrammeihin.

Selvitystyö rajattiin tehtaan prosessin jäähdytysjärjestelmän, prosessihöyryn käytön sekä höyryä tuottavan kattilan tarkasteluun. Tarkastelussa otettiin huomioon tehtaalla jo tehdyt energiatehokkuustoimenpiteet, jotka olivat tuoneet tuotantoyksikölle merkittävää taloudellista hyötyä.

Prosessin lämmöntuotokohdeista tuleva lämpöteho laskettiin ja samalla ajanjaksolla tapahtunut jäähdytysjärjestelmän jäähdytysteho määriteltiin. Tuotannonaikeista energiankulutusta seurataan tehtaalla vain kuukausitasolla, jolloin vuorokautiset heilahtelut jäävät huomiotta. Energiankulutuksesta mallinnettiin yhtälöt, joita käyttämällä voidaan huomata vuorokautiset sähkön- ja höyrynkulutusten epänormaalit käyttömäärät. Näin energiankulutusta voidaan tarkastella kokonaisvaltaisemmin. Laskenta voidaan sisällyttää joko suoraan prosessinohjausjärjestelmään tai tuoda päivittäin tuotannosta vastaavan henkilön käyttöön, joka syöttää lukeman Excel-taulukkolaskelmalla tehtyyn kaavaan.

Energiatehokkuutta parantavia toimenpide-ehdotuksia löydettiin useaan kohteeseen. Toimenpiteinä ehdotettiin laattalämmityspumpun käytön uudelleenohjausta, höyrykattilan polttimen uudistamista sekä taajuusmuuttajien asentamista tuotannon verkoston paineenpito-pumpuille ja tehtaan toisen ison reaktorin vaippapumpulle. Kaikista ehdotetuista energiatehokkuustoimenpiteistä tehtiin yritykselle myös säästöpotentiaalilaskelmat, jotka jäivät tarkastelun kohteena olevan yrityksen toiveesta vain yrityksen tietoon. (Pöntynen, S.)

## **ENERGIASEURANTAMALLIN KEHITYSTYÖ**

Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulun merkittävin tavoite Vähähiiliset satamatoiminnot -hankkeessa oli luoda Suomen satamille energiaseurantamalli, joka kuvaa satamatoimintoja energiankulutuksen näkökulmasta. Energiaseurantamallin oli tarkoitus toimia työkaluna sataman energiatehokkuuden seurannassa ja hallinnassa.

Satamien energiatehokkuuden parantamista ja ideaa satamien energiaseurantamallista on työstetty jo aiemmin Suomi–Venäjä-yhteistyöhankkeessa Ecologically Friendly Port (EFP). EFP-hankkeen laajempaan tavoitteena oli parantaa Itämeren alueen satamien ympäristöturvallisuutta. Hankkeessa tehdyt toimenpiteet kohdistuivat kahteen Itämeren alueen satamaan, HaminaKotka Satama Oy:hyn Suomessa ja Ust-Lugan satamaan Venäjällä. Kymenlaakson ammattikorkeakoulu selvitti hankkeessa satamien energiankulutuksen seurannan nykytilaa ja toteutti energiakatselmointia satamakohteessa Haminan satamanosassa. Ecologically Friendly Port toteutettiin Kaakkois-Suomi–Venäjä ENPI CBC -rahoitusohjelmassa ajalla 1.12.2012–31.10.2014. (Ecologically Friendly Port)

Vähähiiliset satamatoiminnot -hankkeessa oli tarkoituksena laatia satamatoimintojen energiatehokkuuden seurantaan esimerkki ja ohjeistus, joka olisi mahdollista monistaa Suomen eri satamiin. Projektisuunnitelman mukaisesti malliin tulisi kerätä keskitetysti tietoja sataman energiankulutuskohteista, kuten tilastotietoja energiankulutuksesta, sähkönkulutuksen pätö- ja loistehon historiatietoja, energiaa kuluttavien laitteiden teknisiä tietoja sekä laitteiden käyttöhistoriaa kuvaavia tilastoja. Lisäksi sataman eri kohteissa oli tarkoitus suorittaa energiankulutuksen mittauksia ja laatia niistä toimintaohjeet. Hankkeen tuloksena syntyisi niin sanottu jatkuva energiakatselmus, jossa olisi määritelty merkittävimmät seuranta-kohteet sekä seurannan toteutusehdotus. (Hankesuunnitelma)

Energiaseurantamallin kehitystyö aloitettiin projektisuunnitelman mukaan. Hyvin pian aloituksen jälkeen todettiin, että suunnitelman mukainen malli ei palvele tarkoitustaan eikä Suomen satamia. Alkuperäisen suunnitelman mukaisilla toimenpiteillä ei olisi voitu tehokkaasti kehittää satamien energiankulutuksen seuranta- ja energiatehokkuutta, joten suunnitelman mukaista kehitystyötä ei jatkettu alkuselvittelyä pidemmälle. Alkuperäisestä projektisuunnitelmasta jäljelle jäi vain nimi: energiaseurantamalli.

Projektisuunnitelman mukaisesti lähdettiin kuitenkin toteuttamaan kartoitusta satamien merkittävistä energiankulutuskohteista. Kartoitustyön avulla saatiin selville Suomen satamissa usein esiintyvät merkittävät energiankulutuskohteet ja energiavirrat. Kartoitustyö suoritettiin tekemällä selvitys Suomen satamista julkisesti saatavien tietojen perusteella sekä haastatteleamalla Helsingin Satama Oy:n, Loviisan satama Oy:n ja HaminaKotka Satama Oy:n asiantuntijoita.

Energiaseurantamallin kehitystyö toteutettiin suunnitteleamalla kuvitteellinen satama X, jossa esiintyy usealle Suomen satamalle yhteisiä energiakulutuskohteita. Kehitystyön tuloksena syntynyt energiaseurantamalli kuvaa satamatoimintoja merkittävien energiankulutuskohteiden näkökulmasta. Mallissa on esitetty energiankulutuskohteet sähkön, lämmön ja polttoaineiden osalta. Kehitetty energiaseurantamalli on energiankulutuksen simulointimalli, jossa kulutukset ovat laskennallisia perustuen useisiin standardeihin, ohjeistuksiin, fysiikan perusilmiöihin, osittain oikeisiin kulutustietoihin sekä eri valmistajien materiaaleihin.

Vähähiiliset satamatoiminnot -hankkeessa kehitetty energiaseurantamallin versio on niin kutsuttu demo, josta mahdollinen varsinainen kehitystyö voi alkaa. Energiaseurantamalli on tällä hetkellä Excel-pohjainen laskennallinen simulointiohjelma, joka on mallin suuresta koosta johtuen jaettu kolmeen osaan: sähkөөn, lämpөөn ja polttoaineisiin. Excel-malli on luotu Excel 2016 -version avulla, sillä se mahdollisti parhaiten erilaiset toiminnot esimerkiksi tietojen syöttämisen helpottamiseksi. Versiossa on myös visuaalisia toimintoja, joiden avulla sataman kokonaisenergiankulutusta voidaan hyvin kuvata. Energiaseurantamallille on luotu myös kirjallinen ohje, jonka avulla eri satamatoimijat voivat versiota testata ja käyttää. Energiaseurantamallin laskennallista Excel-simulointiohjelmaa ja kirjallista ohjeistusta säilytetään Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulun arkistossa sekä Metsä, ympäristö ja energia -painoalan tutkimus- ja kehitysyksikössä.

## LÄHTEET

Ecologically Friendly Port. 2007 - 2013 South-East Finland-Russia ENPI CBC. Project Description. Saatavissa: <https://www.keep.eu/keep/projectext/10843/Ecologically%20Friendly%20Port>

Energiakatselmusvelvoite. Tiivistelmä suuren yrityksen energiakatselmusvelvoitteesta. Energiavirasto 17.2.2015. Saatavissa: <https://www.energiavirasto.fi/documents/10191/0/Tiivistelmäyrityksen+energiakatselmuksesta>

Energiatehokkuuslaki 1429/2014

Hankesuunnitelma, Vähähiiliset satamatoiminnot. Hakemusnumero: 300354. Euroopan aluekehitysrahasto, Euroopan unioni.

Hiilijalanjälki. Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä 21/2012. ISSN:1798-6664.

Juho Jääsmaa. Kuumaöljyjärjestelmän huolto-ohjelman suunnittelu. Opinnäytetyö energiatekniikan koulutusohjelma, Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu, tammikuu 2017.

Julia Illman, Anna Kumpulainen, Aki Pesola, Juha Vanhanen. Merenkulun ja liikenteen

Mika Simonsson. Polymerointilaitoksen paineilmajärjestelmän kartoitus ja energiansäästömahdollisuudet. Opinnäytetyö, energiatekniikan koulutusohjelma, Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu, maaliskuu 2017.

Minna Lindroos, A. Suomen satamien energiatarpeet. Opinnäytetyö, Kymenlaakson ammattikorkeakoulu, joulukuu 2016.

NEEAP-3. Suomen kansallinen energiatehokkuuden toimintasuunnitelma. 29.4.2014 Energiatehokkuusdirektiivin (2012/27/EU) artiklan 24 (2) mukainen raportointi Euroopan komissiolle. Saatavissa: [http://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/2014\\_neeap\\_fi\\_finland.pdf](http://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/2014_neeap_fi_finland.pdf)

Sami Pöntynen. Lateksitehtaan tuotannon lämpö- ja virtausteknisten järjestelmien optimointi. Opinnäytetyö, automaatiotekniikan koulutusohjelma, Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu, toukokuu 2017.

Suomen satamaliitto. Teemakysely jäsenratamille 2016, energiatehokkuustoimet. Vuositilastot. Saatavissa: <http://www.satamaliitto.fi/fin/tilastot/vuositilastoja/teemakysely-jasensatamille-energiatehokkuustoimet/>

Suurten yritysten pakolliset katselmukset. <https://www.energiavirasto.fi/suurten-yritysten-pakolliset-katselmukset>

Tuomo Pöyskö, Marko Mäenpää ja Pekka Iikkanen, Ramboll. Satamatoiminnan kilpailukyky ja kehittämistarpeet. Arvio kilpailukyvyn osatekijöistä ja vertailu Itämeren alueen satamiin. Liikenne- ja viestintäministeriön julkaisu 17/2014. ISSN: 1795-4045.

Ulkomaan meriliikennetilasto 2016. Liikenneviraston tilastoja 3/2017. ISSN:1796-0479. Saatavissa: [http://www2.liikennevirasto.fi/julkaisut/pdf8/lti\\_2017-03\\_ulkomaan\\_meriliikennetilasto\\_2016\\_web.pdf](http://www2.liikennevirasto.fi/julkaisut/pdf8/lti_2017-03_ulkomaan_meriliikennetilasto_2016_web.pdf)

Vähähiiliset satamatoiminnot. Meriturvallisuuden ja liikenteen tutkimuskeskus. Saatavissa: <http://www.merikotka.fi/projekti/kaynnissa-olevat/vahahiiliset-satamatoiminnot-3/>

# DIGITALISATION IN ENERGY TECHNOLOGY - REMOTE MONITORING AND CONTROL IN POWER PRODUCTION

Merja Mäkelä & Seppo Immonen & Pentti Korvala

There are major changes taking place in European power production. More and more power is produced using renewable sources. We like to avoid power production using fossil fuels due to high carbon dioxide emissions and decreasing natural resources. Unfortunately, the utilisation of renewable resources such as solar and wind energy is very dependent on weather. Thus both centralised, large-scale and distributed, small-scale production methods are needed. Digitalisation, control systems and information technology are essential parts in the management of power production. This article deals with remote operations in power production. Two successful cases are presented. A remote-operated, small-scale solar thermal system motivates private energy savings. A district heating power plant is able to reduce operational costs by using remote operation services. Development trends and used technologies related to remote operations are discussed.

## INTRODUCTION

According to Eurostat, the consumption of electricity among end users declined in 22 of 28 EU countries in 2005–2014. Thus the increase in demand for electricity has been lower than the general economic growth. The growth of sales in power companies has been low. According to a consulting company survey, based on Energy Information Administration (EIA) reports, this comes from the fact that power generation and distribution facilities were rebuilt and energy efficiency improved. We are also moving towards less energy-intensive industries. However, smart, digitalisation-related, power and utilities products are in demand, even more than companies are able to develop and offer at the moment. (Flaherty et.al. 2017)

These days, different kinds of services are accessible through the Internet. Many objects are in the Internet of Things (IoT) and identified by their Internet Protocol (IP) addresses in the network. In IoT, industrial machinery systems are able to inform users of their maintenance needs. Everyday practices are also increasingly included in IoT, such as waste containers informing waste disposal teams of the need for emptying, and refrigerators informing

families of missing food. Remote monitoring, assistance and emergency services for cars are available worldwide from automobile suppliers. Cyber security will be one of the biggest challenges in this digitalisation trend.

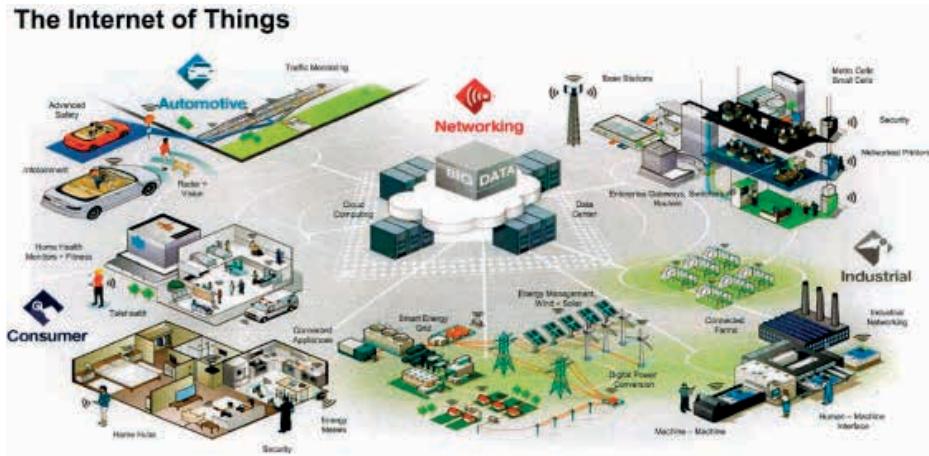
Digitalisation is also an increasing trend in power production and distribution. Today real-time residential energy consumption can be reported directly to customers and energy distribution companies. Grids contain smart components which communicate with control systems and faults can be detected faster than before. Power generation plants may use remote monitoring and control, allowing flexibility in working arrangements and saving operation costs. These smart trends in power generation and distribution were already widely discussed in 2011 by Klimstra and Hotakainen (2011, 154–158).

In EU programs, security, competitiveness, and sustainability are considered the main pillars of the power supply, emphasising the need for a diversified supply, renewable sources, smart infrastructure, competitive markets, and energy efficiency. In 28 EU member states from 2002 to 2014, a total of 459 smart grid projects have been reported (European Commission 2014). Digitalisation is a governmental program in Finland as well. Generally, weather-dependent production will be increasing due to implementation of solar and wind power, while weather-dependent grids will be decreasing due to improved technology. The security of the power supply has to be ensured by using advanced grid and storage technology, sophisticated control systems, and sustainable business models.

An extensive group of Finnish scientists and experts published, in 2016, Roadmap 2025 and Vision 2035, regarding the future of the Finnish electricity market and grids. The following aspects in the development of the power supply are regarded as essential:

1. Business models, services and regulation
2. Distributed production, storage technology and elasticity of demand
3. Grid technology
4. Digitalisation, control systems and information technology (Kumpulainen et.al. 2016, 23)

# REMOTE OPERATIONS IN THE POWER SUPPLY



*Figure 1. Interconnected power production and consumption (Register 2017).*

The development of digitalisation, control systems and information technology will play an important part in the future power supply (Figure 1). Advanced management of power supply and consumption is called for (Register 2017). Industries, homes and companies are both power consumers and producers. Advanced big data management takes place in data centres.

Remote operations can be realised in different kinds of power production processes and activities. Monitoring allows users remote access to information. In remote operation control actions are also enabled. In engineering, collaborative working takes place in networks using remote access, while maintenance uses both monitoring and controlling activities.

## MONITORING

Remote monitoring allows users to see production-related information using network-connected smartphones, tablets and computers. Automatic Meter Reading (AMR), also called smart metering, is widely used in European countries. The EU aims at a coverage of 80% in smart metering by 2020 (European Commission 2017). AMR allows the monitoring of electricity consumption without visiting user locations. AMR communication utilises electric and mobile networks. The coverage of smart metering in electricity consumption is almost 100 % in Finland. Scientists and experts predict that by 2035 private customers will have more active roles in the optimisation of their own power consumption and production (Kumpulainen et.al. 2016, 19). This will be possible due to an increasing number of easy offerings by service suppliers.

## **MONITORING AND CONTROL**

Remote monitoring and control in power production are widely used with commercial wind farms and solar farms. These production facilities are rather autonomous in their operations and there are no significant safety risks. Single wind turbines have their programmable logic controllers (PLCs) taking care of operation modes, measurement and control actions. In the same way, PLC-based controllers measure and control solar farms automatically. Monitoring and occasional control actions of wind and solar farms take place in remote control rooms, using supervisory control and data acquisition (SCADA) software.

Process control can be regarded as the lowest level in the management of centralised power production, and the time horizon varies between ten milliseconds and one hour. Distributed control systems (DCSs) are the main control systems of central power plants. In addition, PLCs are often used in some sub-processes. A redundant safety PLC is responsible for safety actions. DCSs are supervised by enterprise resource planning (ERP) systems. Enterprise resource planning runs in the time frame of one hour to one year, while business operations work on the time scale of one to five years (Majanne and Välisuo 2007). For a relatively long time, local heating stations have been monitored and operated from the central control room of a central power plant. Enabling remote monitoring and operation of large-scale power production sets high requirements for automation in production plants. Most measurement and control activities are automatic but the expertise of operators is needed in demanding decision-making tasks. Due to staff cost reasons, remote operations of large-scale production are increasing.

According to the Finnish act on pressure equipment (1144/2016) and the Finnish decree on pressure equipment (1549/2016) there are no more power limitations for power plants starting to use remote operations. These recent regulations came into effect on 1.1.2017 in Finland. Service suppliers of remote operations, control system suppliers and consulting companies see a lot of business potential in the development of remote operations. Many power plants could use remote operations without many changes, while others would need some improvements and updates. A higher degree of automation would also improve the energy efficiency and running practices in power plants.

## **ENGINEERING AND MAINTENANCE**

Today many engineering activities related to power supply are network based. This provides significant flexibility, working efficiency and cost savings. Members of project groups may work in different locations and this increases flexibility in practical working arrangements. Basic process, instrumentation and motor data are processed and stored using secured databases of data centres in cloud services, and in start-ups all this data is accessible when needed. Supporting information for projects from different suppliers is mainly available in



cloud services. Application programming of process control systems using remote connections is possible and several programmers may work at the same time in different locations. Most project meetings take place via the internet using video conference tools such as Skype Business. Training courses and exams on security culture in customer companies are also run via the internet nowadays. Final project documentation is delivered to end users' archive systems electronically. Since the early 1990s, programming of running process control systems has been possible in some control system platforms using remote communication, which helps in urgent changes and troubleshooting.

Online diagnostics of production machinery is based on the measurement of condition-describing variables such as vibrations of machinery, temperatures of bearings, and flows and pressures of hydraulic oils, for example. The online diagnostics may use advanced mathematical modelling to report its findings to users. Power production facilities may be provided with diagnostic tools which allow remote monitoring and control. Using communication networks, industrial machinery systems are able to inform responsible teams of preventive and corrective maintenance needs. Not all problems may require a physical visit, and inspections and maintenance costs can be reduced.

## **EXPERIENCES IN REMOTE OPERATIONS**

IoT already plays an important role in our lives. Both home and company users are encouraged to find creative solutions in power production and consumption. Easily realisable remote monitoring and control methods may benefit everyday life in homes and companies, motivate energy saving, and reduce energy costs.

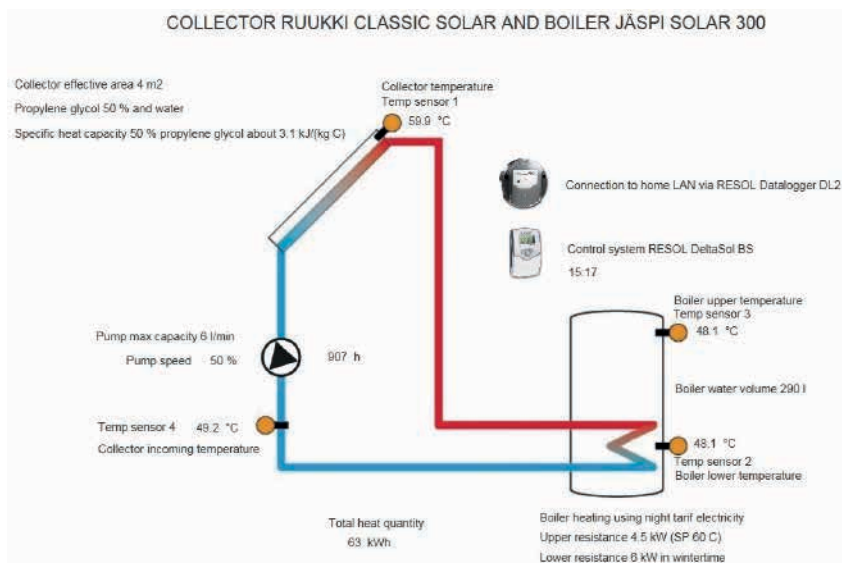
## **SOLAR THERMAL SYSTEM**

A solar thermal system is a heat exchanger that can be used for the heating of water. In southern Finland the radiation of the sun is sufficient from March to September for heating water using solar thermal systems. Solar collectors catching the sun's radiation can be integrated in the roofing sheet if snow and rubbish collecting is not desired (Figure 2). In favourable conditions solar heating may reach an energy efficiency of up to 65–75% using flat-plate collectors (DEA 2014, 47–51).



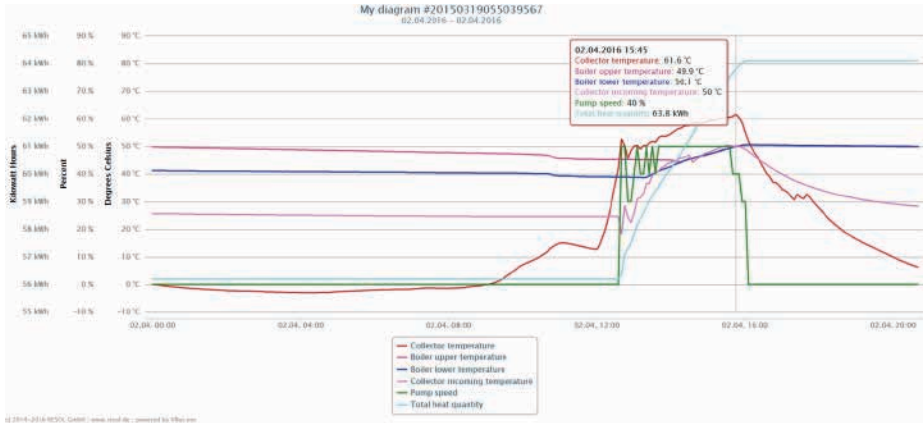
**Figure 2.** Integrated solar thermal collectors for residential warm water heating (Mäkelä 2016).

The solar thermal system comprises four flat-plate solar collectors, propylene glycol circulation with a pump and a boiler with water. The automation of the solar thermal system consists of four Pt100 temperature sensors and a programmable logic controller Resol DeltaSol BS, provided by Resol. When the temperature difference of the collector and the lower part of the boiler is more than six degrees, the pump is running and the circulation fluid is transferring heat from the collector to the boiler water. This solar thermal system can be monitored online using a customised graphics display (Figure 3) by any internet computer, tablet or smartphone.



**Figure 3.** Monitoring diagram of a solar thermal system.

The solar thermal system is provided by a Resol Datalogger DL2 which enables the sampling of history data (Resol 2016). Based on the presentation of history trends concerning the essential resulting variables of this distributed power production, the running parameters of the system can be optimised (Figure 4).



*Figure 4. History trends of a solar thermal system.*

The datalogger is connected to the PLC using a fieldbus Vbus, and to a local area network (LAN), based on Ethernet and TCP/IP. Thus any internet computer can be utilised to monitor and operate the system using the cloud services provided by Resol.

## DISTRICT HEATING

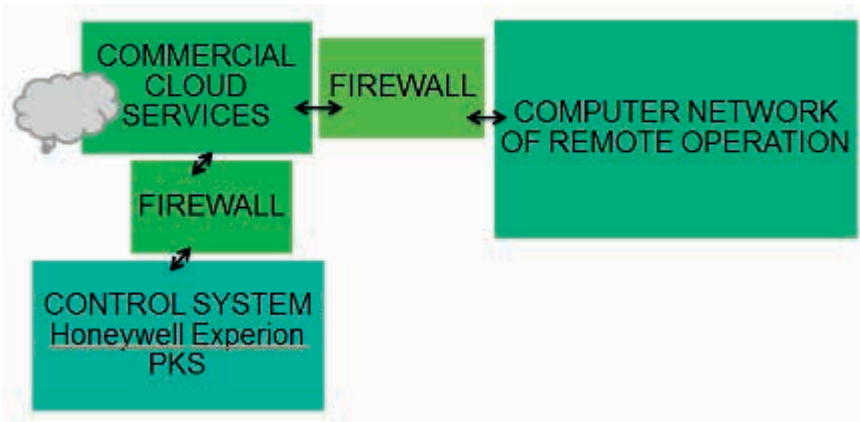
Remote monitoring and operation activities are also increasing in centralised power production, because power producers tend to cut operational costs. A Finnish energy production company, called Vapo, provides its power plants with remote operation services and has a modern central control room with power production experts, located in Southern Finland. One operator at a time monitors and operates 5 central power plants, 5 heating stations and 7 district heating networks, and also monitors dozens of heating centres (Figure 5). Operators work in 12-hour shifts supported by their production manager. At first Vapo developed these operation practices for its own power production, but today some other energy production companies are using its operation services, as well. (Lehto 2016)



*Figure 5. Monitoring and operation of numerous power plants in a remote central control room (Courtesy of Vapo, Immonen 2016).*

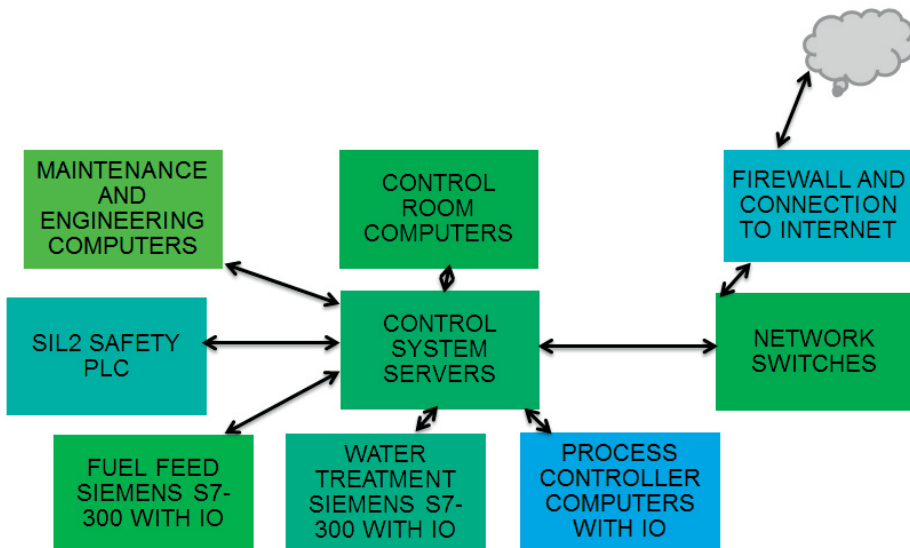
Vatajakosken Sähkö owns a central combined heat and power (CHP) power plant based on circulating fluidised bed (CFB) technology and two heating stations in western Finland. The total heating power of the central power plant reaches 24 MW, while the electric power counts for 6 MW. The company uses solid renewable fuels such as wood chips, bark, sawdust, wood waste, unmerchantable corn, and peat.

The main control system of the district heating power plant comes from the system supplier Honeywell. In 2016, the old control system version, TP Alcont, was updated to become an Experion PKS PMD version which would enable remote monitoring and control. In addition, some PLCs, instruments, motor control centres and frequency converters had to be replaced. In remote operation, the primary communication between the main control system of the power plant and the remote control room utilises a secured landline network of a commercial operator and is equipped with firewalls (Figure 6). There is a backup communication system using a mobile network.



**Figure 6.** Communication network arrangements of a district heating power plant in remote monitoring and control.

The main control system, Honeywell Experion PKS PMD, consists of control system servers, control room computers, process controller computers with input and output units, and maintenance and engineering computers connected together using network switches, Ethernet cabling and TCP/IP protocol (Figure 7) (Honeywell 2017). Process controller computers automatically run the measurement and control of roughly 500 loops. In addition, two Siemens S7-300 PLC units are provided for fuel feeding and water treatment. An independent, SIL 2 safety category Siemens PLC replaces old analogue safety control systems.



**Figure 7.** Control system network Experion PKS PMD of a district heating power plant.

## CONCLUSIONS

The growth of sales in power companies has been low in recent years due to decreasing energy consumption. However, a secured power supply interests all of us. The grids and production facilities should be kept in good condition and power companies profitable. Scientists, power producers, consultants, and system and service suppliers see a lot of business potential in remote operations. Using remote monitoring and control in a solar thermal system helps private users to optimise the running parameters of the system. In a district heating power plant, remote operation activities require some improvements in automation but make power production more efficient and reduce operational costs.

## BIBLIOGRAPHY

DEA Energy supply with renewables – Made in Germany, Information on technologies, suppliers, products and services, Deutsche Energie-Agentur, Berlin, Germany 2014, pp.47–51.

Flaherty, T., Schwieters, N., Jennings, S., 2017 Power and utilities trends, available 14.2.2017 in: <http://www.strategyand.pwc.com/trend/2017-power-and-utilities-industry-trends>.

Honeywell Distributed system architecture, Experion PKS, Honeywell, available 19.3.2017 in: <https://www.honeywellprocess.com/en-US/explore/products/control-monitoring-and-safety-systems/integrated-control-and-safety-systems/experion-pks/Pages/distributed-system-architecture.aspx>.

Immonen, S., Courtesy of Vapo, Central control room, Private archive, 2016.

Klimstra, J., Hotakainen, M., Smart power generation, Wärtsilä, Helsinki, Finland 2011, pp. 154–158.

Kumpulainen et.al., Working group, Electricity market and network vision 2035 and roadmap 2025 (in Finnish), Final report, Vaasa University, Merinova, Lappeenranta University of Technology, Tampere University of Technology, Finland 2016, 31 p., also available 14.3.2017 in: [http://energia.fi/files/786/Roadmap\\_2025\\_loppuraportti.pdf](http://energia.fi/files/786/Roadmap_2025_loppuraportti.pdf).

Lehto, T. Remote operations cut costs of power production (in Finnish), Tekniikka ja Talous 22.4.2016, also available 18.3.2017 in: <http://www.tekniikkatalous.fi/ttpaiva/etakaytto-leikkaa-voimalan-kulut-6544122>.

Majanne, Y., Välisuo, M. Management of power plant processes (in Finnish), Presentation, Tampere University of Technology, Tampere, Finland 2007, 33 p.

Mäkelä, M., Solar collector, Private archive, 2016.

Painelaitelaki (Act on pressure equipment) 16.12.2016/1144, also available 19.3.2017 in: <http://plus.edilex.fi/tukes/fi/lainsaadanto/20161144?toc=1>.

Resol Manual Datalogger DL2, Mounting, operation, web interface, Resol, Hattingen, Germany, 2016, 28 p, also available 18.3.2017 in: [http://www.resol.de/Produkt Dokumente/48003741\\_Datalogger\\_DL2\\_V2.monen.pdf](http://www.resol.de/Produkt Dokumente/48003741_Datalogger_DL2_V2.monen.pdf).

Smart Electricity Systems and Interoperability, Smart Grid Projects Outlook, European Commission 2014, available 18.3.2017 in: <http://ses.jrc.ec.europa.eu/smart-grids-observatory>.

Smart grids and meters, European Commission, available 18.3.2017 in: <https://ec.europa.eu/energy/en/topics/markets-and-consumers/smart-grids-and-meters>.

The Register, Internet of Things, available 18.3.2017 in: [http://www.theregister.co.uk/2014/05/07/freescale\\_internet\\_of\\_things/](http://www.theregister.co.uk/2014/05/07/freescale_internet_of_things/).

Valtioneuvoston asetus painelaiteturvallisuudesta (Decree on pressure equipment safety) 29.12.2016 1549/2016, Finnish government, also available 19.3.2017 in: <https://www.edilex.fi/saaduskokoelma/20161549.pdf>.

# UUDEN PURISTUSJAUHATUS- TEKNIIKAN KEHITYS

Juhani Turunen & Jari Käyhkö

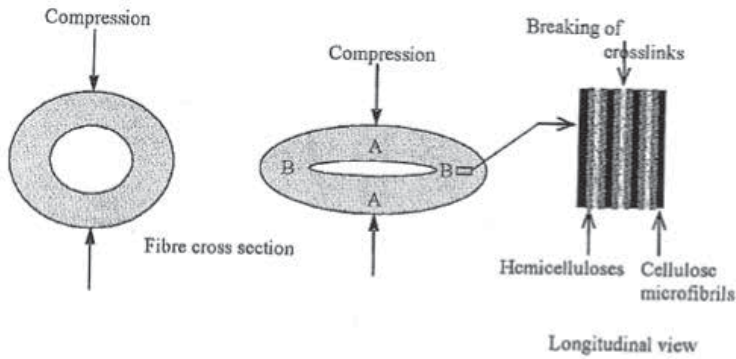
Puuhaketta ja kuitumassaa jauhetaan perinteisesti teräjauhimilla kuitujen erottamiseksi ja kuitujen muokkaamiseksi niistä valmistettavan tuotteen sekä tuotantoprosessin kannalta optimaaliseksi. Jauhatus on erittäin olennainen osa paperin ja kartongin valmistusprosessia, ja näitä tuotteita valmistetaan maailmassa noin 400 miljoonaa tonnia vuodessa. Jauhatuselle on ominaista korkea energiankulutus sekä kuitujen ja niistä valmistettujen tuotteiden tiettyjen ominaisuuksien huononeminen, kuten kuitupituuden lasku sekä vedenpoiston, repäisyjuuuden ja paperin paksuuden pieneneminen. Nykytekniikalla tehtävä teräjauhatus on vielä kaukana teoreettisesta optimista energiankulutuksen ja laatuominaisuuksien suhteen. Puristusjauhatus on tutkittu aiemmin paljon kemiallisen massan jauhukseen liittyen ja tutkimuksiin liittyviä koelaitteita on rakennettu, mutta koelaitteet eivät sovellu tuotantoprosessissa käytettäväksi. Kuitulaboratoriossa on tutkittu jo vuodesta 2010 lähtien uutta teolliseen mittakaavaan soveltuvaa puristusjauhatusmekaniikkaa. Tekniikan yksi sovelluskohde on patentoitu, ja kokeelliset tutkimukset jatkuvat piakkoin juuri alkaneessa ”Kuidun uudet mahdollisuudet - KUUMA” -hankkeessa. Hanketta rahoittaa Etelä-Savon maakuntaliitto Euroopan aluekehitysrahastosta. Tässä artikkelissa kerrotaan tutkimusalueen taustat, saadut merkittävimmät tulokset sekä jatkosuunnitelmat.

## JOHDANTO

Kemiallista massaa jauhetaan teräjauhimilla tiettyjen paperitekniisten ominaisuuksien, kuten lujuuden ja formaation, parantamiseksi. Teräjauhatusessa kuidun ulkoinen fibrillaatio, kuitujen katkeilu ja hienoaineen muodostus on merkittävää voimakkaiden leikkausvoimien takia. Tiedetään myös, että perinteisessä teräjauhatusessa merkittävä osa kuiduista, jopa 80 prosenttia, ei jauhaudu lainkaan. Ideaalinen jauhatustapahtuma aiheuttaisi pääasiassa sisäistä fibrillaatiota, ulkoista fibrillaatiota tapahtuisi sopivasti ja hienoaineen muodostuminen olisi minimoitu, kuidut eivät katkeilisi lainkaan, jauhatusenergiatarve olisi matala ja käsittely täysin homogeeninen kaikkien kuitujen osalta (Kerekes 2010, Hietanen 1991, Dekker et al. 2007).

Viime aikoina laajalti tutkittu puristusjauhatus perustuu leikkaavien voimien sijaan pääasiassa puristaviin voimiin, mikä aiheuttaa kuidussa enimmäkseen sisäistä fibrillaatiota (kuva 1).





**Kuva 1.** Puristusjauhatuksen periaate (kuva Wang et al. 2007).

Useiden tutkimusten mukaan kuitujen sisäistä fibrillaatiota pidetään tärkeimpänä jauhatusefektinä korkean lujuuspotentiaaloin saavuttamiseksi, mutta ulkoisella fibrillaatiolla ja hienoaineen muodostumisella on oma roolinsa muun muassa kuituverkoston sitoutumisen kannalta (Casey 1960, Higgins et al. 1961, Tasman 1966, Giertz 1980, Ebeling 1980, Hartman 1984, Page 1989, Paavilainen 1993).

Puristusjauhatusta on tutkittu lähes yksinomaan kemiallisen massan jauhatuksen yhteydessä, mutta menetelmää voisi myös olla mahdollista soveltaa kierrätyskuidun, mekaanisen massan ja hakkeen käsittelyssä. Lievää puristustyyppistä käsittelyä tehdään jo nykyisin ruuvipuristimilla hakemateriaalille mekaanisen massan valmistuksen yhteydessä, jolloin tavoitteena on muokata hakkeen ja kuitujen rakennetta kemikaalien imeytymisen tai varsinaisen teräjauhatuksen toiminnan parantamiseksi. Puristusjauhatuksella on energiankulutuksen vähentämisen ja pienten laatuvarannusten lisäksi mahdollisuus laajentaa kuitumateriaalien toiminnallisia ominaisuuksia, mikä voisi johtaa ominaisuuksiltaan selkeästi parempien tai jopa aivan uudentyyppisten kuitutuotteiden kehittämiseen.

Puristusjauhatuksessa ulkoinen fibrillaatio ja hienoaineen muodostus ovat vähäisempiä alhaisten leikkausvoimien takia. Itse jauhatustapahtuma kuluttaa vähemmän energiaa kuin perinteinen jauhatus samassa vetolujuudessa. Samalla massan suotautuvuudella voidaan saavuttaa korkeampi vetolujuus. Samalla vetolujuustasolla verrattuna puristusjauhetulla massalla on pienempi vedenpidätyskyky, mikä johtaa kuivatusenergiesästäön paperikoneella. Puristusjauhetuilla massoilla saattaa kuitenkin olla perinteisesti jauhettuja massoja selvästi alhaisempi repäisyjujuus ja bulkki (Dekker et al. 2007).

On myös esitetty (Wang et al. 2007, Seo et al. 2002, Seo et al. 2003, El-Sharkawy et al. 2008), että kuidun täyden paperiteknisen laatu- ja lujuuspotentiaaloin hyödyntäminen edellyttää kaksivaiheista jauhatusta. Ensinnä tulisi tehdä puristuskäsittely kuidun sisäisen fibrillaation ja

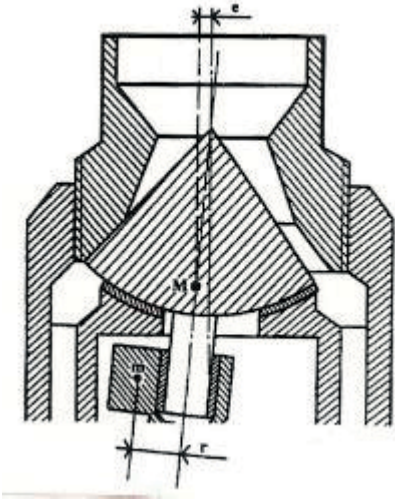
kuidun suoristamisen edistämiseksi, ja toisena vaiheena hiova käsittely ulkoisen fibrillaation kehittämiseksi. Näin sisäistä ja ulkoista fibrillaatiota voidaan säätää toisistaan riippumatta. Kaksivaiheinen jauhatus, joka sisältää kuidun puristusjauhatuksen sopivalla laitteella ja ulkoisen fibrillaation perinteisellä teräjäjauhatuksella, saattaisi optimaalisesti toteutettuna oleellisesti parantaa joitakin valmiin paperin laatuominaisuuksia ja mahdollisesti jopa säästää energiaa.

Puristusjauhatuksen soveltamista on hidastanut sopivien tehdasmittakaavaisten laitteiden puuttuminen markkinoilta. Laboratoriomittaisia koelaitteistoja on kirjallisuudessa (Dekker et al. 2007, Lossada et al. 2001, Eibinger et al. 2005, Dekker 2007, Goosen et al. 2007) esitetty muutamia, esimerkiksi modifioitu PFI-jauhin, mutta niiden muuntaminen tehdasmittakaavaan on vaikeaa tai mahdotonta.

Xamkin Kuitulaboratoriossa Savonlinnassa on tehty alustavaa puristusjauhatustutkimusta venäläisen Mekhanobr-tekniikan kivenmurskaukseen tarkoitettulla KID-kartiotärymurskaimella (kuvat 2 ja 3). Kyseisen tekniikan tekee hyvin mielenkiintoiseksi se, että se voisi olla suoraan sovellettavissa tehdasmittaiseen jauhatukseen. Alustavien tulosten mukaan laitteella voidaan jauhaa kemiallista massaa. Esimerkiksi samassa suotautumisasteessa on pystytty saavuttamaan perinteistä jauhatusta korkeampi vetolujuus. Laitteen nettoenergiakulutus koejauhatuksissa on ollut erittäin pieni – etenkin jauhatuksissa käytetyllä massan sakeustasolla 5–10 prosenttia. Toisaalta laitteen vaatima tyhjäkäyntiteho on ollut jopa kaksi kolmasosaa kokonaisenergian kulutuksesta, mikä on huomattavasti enemmän kuin perinteisellä jauhatusmenetelmällä.



*Kuva 2. KID-kartiotärymurskain (kuva Juhani Turunen).*



*Kuva 3. Murskauksen ja jauhautumisen periaate KID-laitteella (kuva Blazy et al. 1994).*

Mittausten mukaan KID-jauhatuksessa kuidut turpoavat enemmän kuin teräjauhatuksessa eli kuiduissa näyttäisi tapahtuvan enemmän sisäistä fibrillaatiota, kuten pitäisikin. Toisaalta laite katkoo kuituja ja muodostaa hienoainetta enemmän kuin puristusjauhatusteorian mukaan voisi olettaa. Siksi aihealue vaatii vielä laajaa perustutkimusta jauhatusmekanismeista, jotta menetelmän potentiaali jauhetun massan laadun parantamisessa ja/tai energiankulutuksen pienentämisessä voitaisiin todentaa.

## MATERIAALIT JA MENETELMÄT

Massan käsittelyssä ja analysoinnissa on käytetty taulukon 1 mukaisia standardeja.

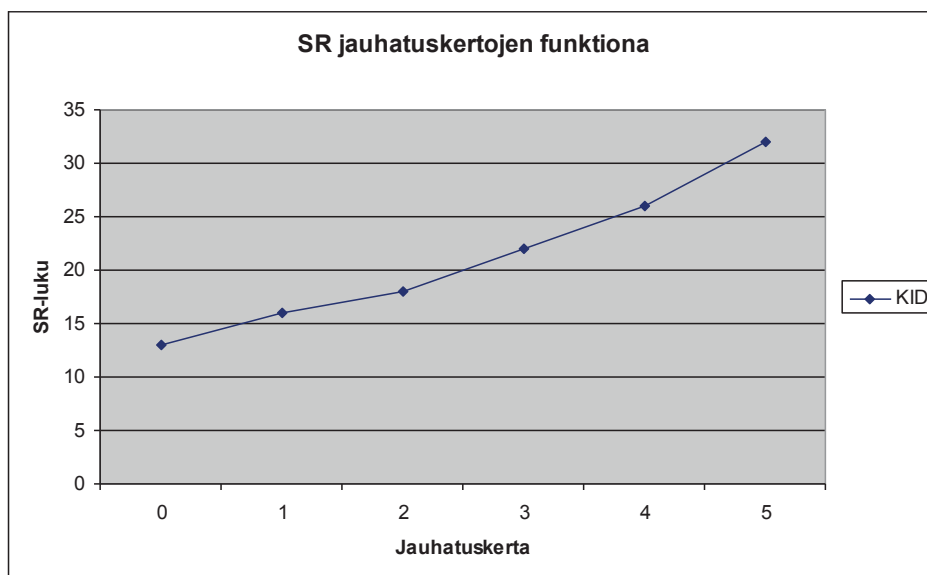
*Taulukko 1. Käytetyt laboratoriostandardit.*

Valley-jauhatus	SCAN-C 25:76
SR-luku	ISO 5267-1
Kuituanalyysi	T 271
ISO-vaaleus	ISO 2470
Valonsirontakerroin	ISO 9416
Valonabsorptiokerroin	ISO 9416
Vetoindeksi	ISO 5270, ISO 1924-2
Murtovenymä	ISO 5270
Kuumahajotus	ISO 5263
Repäisylujuus	ISO 5270, ISO 1974
Tiheys tai bulkki	ISO 534
WRV	ISO 23714
Sakeus	ISO 4119

## MÄNTYMASSAN KÄSITTELY KID-MURSKAIMELLA

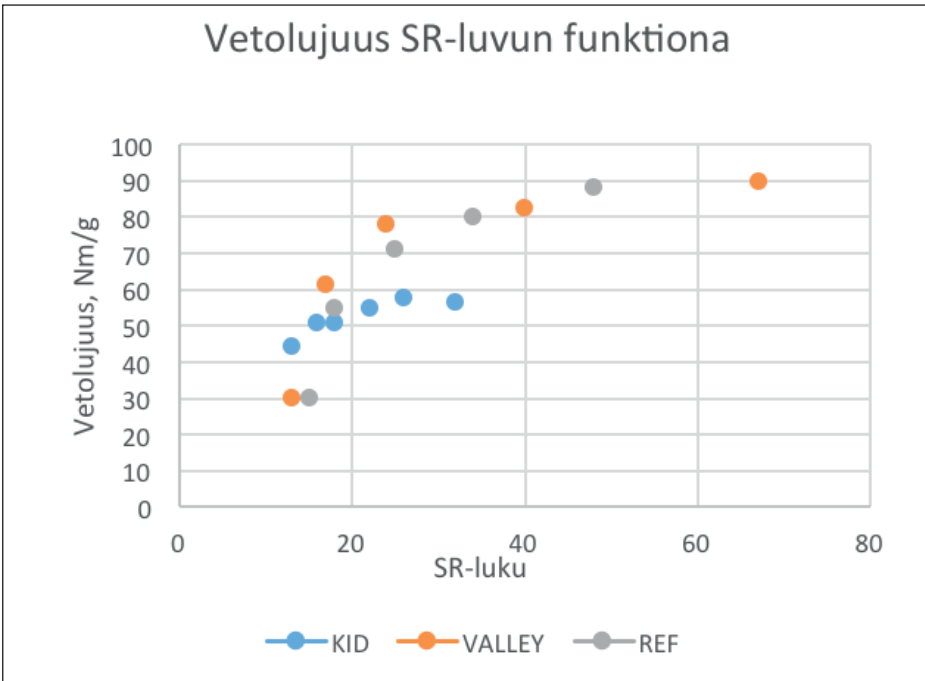
KID-murskaimella ajettiin mäntymassaa 5,5 prosentin sakeudessa viisi kertaa KID-jauhimen läpi. Massaa annosteltiin yläsuppilon niin nopeasti kuin se laitteen läpäisi. Täryn taajuus oli 50 Hz ja vällys 3,0 mm. Energiankulutuksia arvioitiin seuraamalla ampeerimittaria sekä jauhatuksen että tyhjäkäynnin aikana. Massan ominaisuuksien vertailemiseksi tehtiin Valley-jauhatus.

Kuvassa 4 on esitetty SR-luvun kehittyminen jauhatuskertojen funktiona. Jauhatusaste kehittyy hyvin johdonmukaisesti.



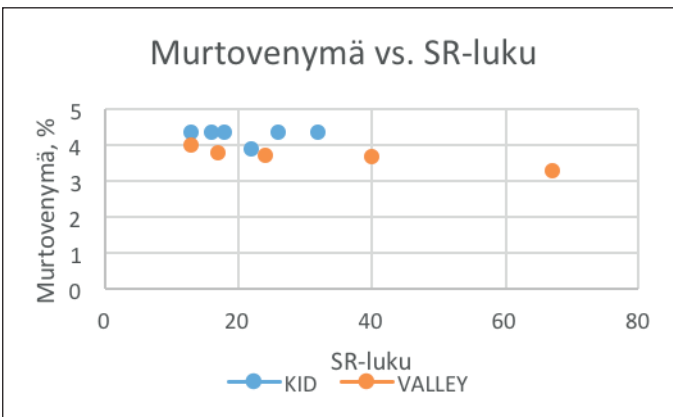
*Kuva 4. SR-luvun kehittyminen jauhatuskertojen funktiona.*

Kuvassa 5 on esitetty vetolujuuden kehittyminen jauhatusasteen funktiona. Kuten kuvasta nähdään, KID-jauhimella saavutettu vetolujuus jää vaatimattomalle tasolle. Ero Valley-jauhatusseen ja kiekkojauhimella tehtyyn jauhatukseen SR-tasolla 30 on noin 20 Nm/g. Kolmannen jauhatuskerran jälkeen vetolujuus ei käytännössä lisääntynyt.



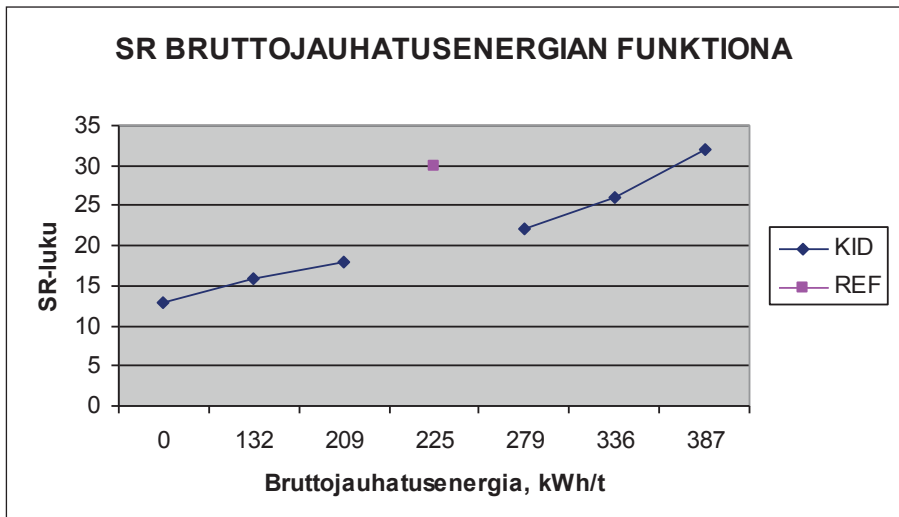
**Kuva 5.** Vetolujuuden kehittyminen SR-luvun funktiona KID-jauhimmella, Valley-jauhatuksessa sekä referenssikielkojauhatuksessa.

Kuvassa 6 on esitetty murtovenymän kehittyminen SR-luvun kasvaessa. KID-jauhimmella saadaan samassa SR-luvussa verrattuna hieman korkeammat venymälukemat.

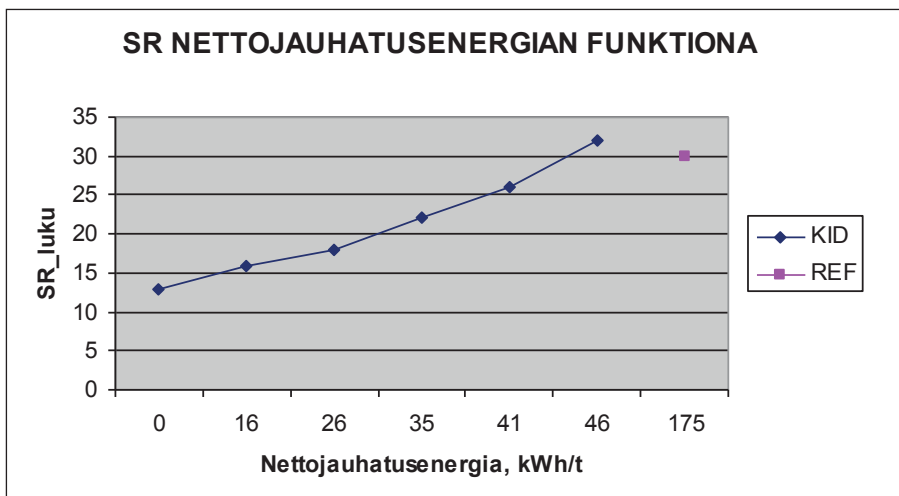


**Kuva 6.** Murtovenymä SR-luvun funktiona KID- ja Valley-jauhatuksessa.

Kuvassa 7 on esitetty SR-luvun kehittyminen bruttojauhatusenergian funktiona ja kuvassa 8 nettojauhatusenergian funktiona. Nettojauhatusenergia on huomattavan pieni. SR-tasolle 30 on päästy noin 45 kWh/t:n energiankulutuksella. Bruttoenergiaa kuluu huomattavan paljon: tasolla SR 30 noin 350 kWh/t. Tehdasmitassa kiekkojauhatuksen nettoenergian-tarve männyllä SR-luvussa 30 on tyypillisesti tasoa 175 kWh/t ja bruttoenergian-tarve 225 kWh/t. Sekä läpäisy aika että ampeerikuorma laskevat johdonmukaisesti jauhatuskertojen lisääntyessä.



*Kuva 7. SR-luku bruttojauhatusenergian funktiona.*

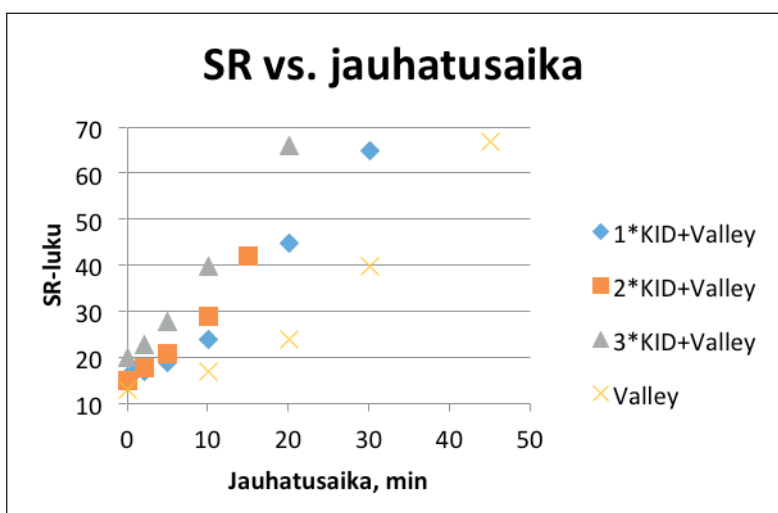


*Kuva 8. SR-luvun kehittyminen nettojauhatusenergian funktiona.*

## MÄNTYMASSAN YHDISTETTY JAUHATUS

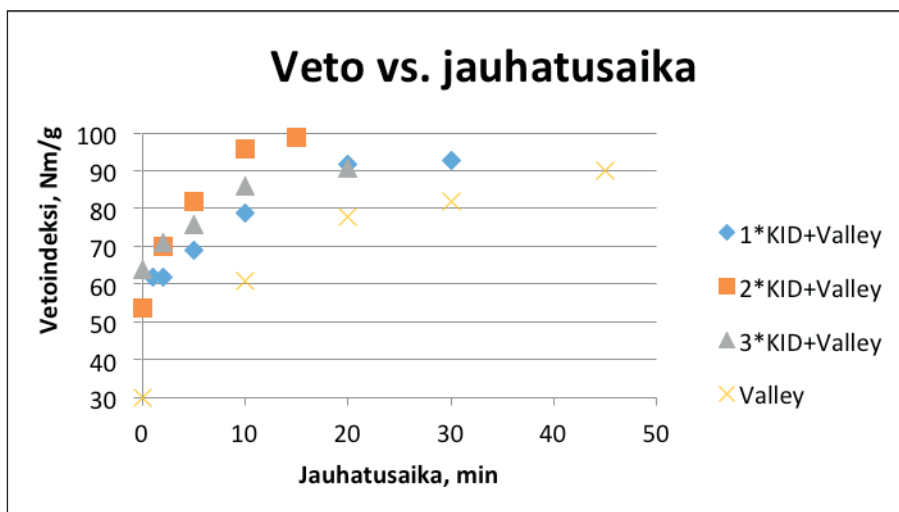
Koska vetolujuutta ei saatu kehittymään tyydyttävästi, tutkittiin, miten KID-jauhettu massa käyttäytyy jatkoksi suoritettavassa lyhyessä Valley-jauhatusessa. Vertailuna käytettiin aiemmin tehtyä Valley-jauhatusa. KID-jauhaukset tehtiin välyksellä 4,5 mm, taajuudella 50 Hz ja mäntymassan sakeudella 9 %. Tehtiin kolme läpiajoa.

Kuvassa 9 on esitetty jauhatustason kehittyminen Valley-jauhatusajan funktiona. Kuvasta havaitaan, että vaikka KID-jauhatusta nostaa SR-lukua vain hieman, KID-jauhetut massat jauhautuvat Valley-jauhatusessa huomattavasti nopeammin. Tämä indikoisi sitä, että KID jauhaa massoja eri tavalla teräjauhatuskeen verrattuna ja vielä siten, että KID-jauhettujen massojen jauhautuvuus teräjauhatusessa paranee.



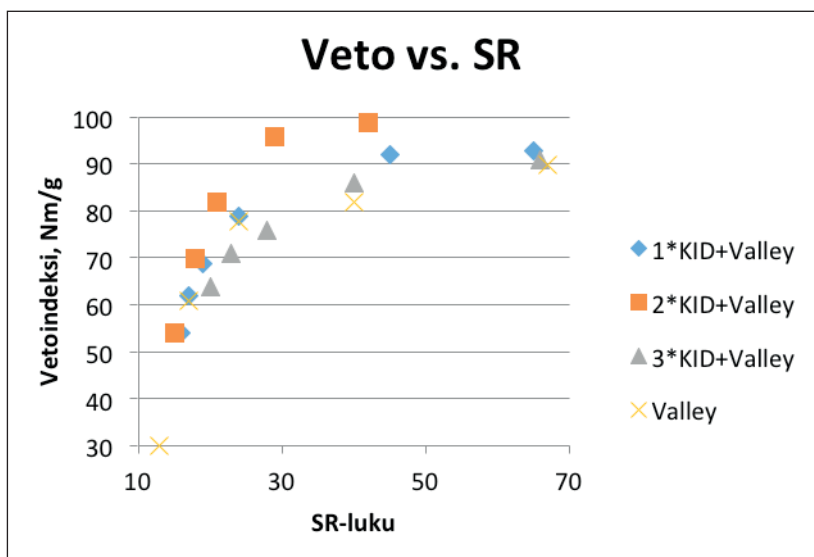
*Kuva 9. Jauhatusaste jauhatusaajan funktiona.*

Kuvassa 10 on esitetty vetoindeksin kehittyminen Valley-jauhatusajan funktiona. Nyt korkeimmat vetolujuudet saadaan käsittelyllä 2\*KID + Valley. Jo kahden minuutin Valley-jauhatusella saadaan 70 Nm/g:n vetoindeksi. On myös huomattava, että yhdistetty jauhatus mahdollistaa pelkkää Valley-jauhatusa korkeamman vetolujuustason.



*Kuva 10. Vetoindexi jauhatusajan funktiona.*

Kuvassa 11 on esitetty vetoindexi SR-luvun funktiona. Huomataan, että samassa jauhatusteessa yhdistetyllä jauhatuskäsittelyllä saadaan korkeampi vetolujuustaso kuin pelkällä Valley-jauhatuksella. Korkein vetolujuustaso samassa SR-luvussa saavutetaan käsittelyllä 2\*KID + Valley.



*Kuva 11. Vetoindexi jauhatusteiden funktiona.*



## JOHTOPÄÄTÖKSET

Tulokset ovat erittäin lupaavia puristusjauhatuksen kehittämisen kannalta. KID-jauhimella on myös tehty alustavia testejä muilla massaerillä (tuloksia ei ole vielä julkaistu), ja näissä tulokset eivät ole olleet aivan näin hyviä esimerkiksi vetolujuuden kehittymisen osalta. KID-jauhatuksessa on useita eri ajoparametreja, kuten kartion vällys, taajuus, epäkeskopainon suuruus ja jauhatussakeus, sekä laitteen rakenneparametreja, joita ei ole vielä juurikaan testattu saati optimoitu eri massalajeille. KID-jauhimella kuitenkin pystytään jauhaamaan puukuituja, ja jauhatustulos poikkeaa selkeästi teräjauhatuksesta siten, että tämä antaa mahdollisuuksia pienentää jauhatusprosessin energiankulutusta ja parantaa kuituominaisuuksia. Pienen tauon jälkeen tutkimukset jatkuvat nyt Etelä-Savon maakuntaliiton Euroopan aluekehitysrahastosta rahoittamassa ”Kuidun uudet mahdollisuudet – Kuuma” -hankkeessa. Pääasiallisena tavoitteena on löytää tuotteet ja massalaadut, joille KID-jauhatus soveltuu parhaiten, ja tuottaa referenssidataa sen soveltuvuudesta. Lisäksi selvitetään, kuinka KID-puristusjauhatus poikkeaa teräjauhatuksesta kuitutason perusominaisuuksien osalta. Näissä perustyyppisissä tutkimuksissa yhteistyötä tehdään Aalto-yliopiston Biotuotetekniikan tutkimusryhmien kanssa (prof. Thad Maloney, prof. Jouni Paltakari ja tohtori Eero Hiltunen).

## LÄHTEET

Blazy, P., Zarogatsky, L.P., Jdid, E.A., Hamdadan, M., Vibroinertial comminution – principles and performance. *International Journal of Mineral Processing* 41 (1994), 33–51.

Casey, J.P., *Pulp and Paper - Chemistry and Chemical Technology*. Vol.2. Interscience Publishers, Inc., New York, USA, p.687–689 (1960)

Dekker, J., *Compression refining, theory and practice*. *International Pulp Refining Seminar 2007*. Espoo 2007. S. 24–28.

Dekker, J., Bouma, H., Hooimeijer, A., *Compression refining: the energy saving breakthrough in papermaking technology*. *Pulpaper 2007 Conference*. Fiber modifications and brightening. Helsinki 2007.

Ebeling, K., *A critical review of current theories for the refining of chemical pulps*. *International Symposium of Fundamental Concepts of Refining*. Institute of Paper Chemistry, Appleton, USA, p. 1–36 (1980).

Eibinger, K., Eichinger, R., Bauer, W., *Development of pulp properties by “impulse refining”: a friction-free compression treatment*. *PTS Paper Symposium*, Munich, Germany, 2005.

El-Sharkawy, K, Haavisto, S, Paulapuro, H., The influence of a calendering pre-treatment on the refining of chemical softwood pulps, *Appita* vol. 61, no. 1, Jan. 2008, p. 41.

Giertz, H.W., The influence of beating on individual fibers and the causal effects on paper properties. *International Symposium on Fundamental Concepts of Refining*. Institute of Paper Chemistry, Appleton, USA, p. 87–92 (1980).

Goosen, D.R., Olson, J.A., Kerekes, R.J., The role of heterogeneity in compression refining. *J. Pulp Paper Sci.* 33 (2007) 2, 1–5.

Hartman, R.R., Mechanical treatment of pulps for property development. *Doctoral Thesis*, Institute of Paper Chemistry, Appleton, USA, p.127 (1984)

Hietanen, S., The role of fiber flocculation in chemical pulp refining. *Paperi Puu* 73 (1991) 3, 249–259.

Higgins, H.G. and de Yong, J., The beating process – primary effects and their influence on paper properties. *Formation and Structure of Paper*, Transactions of the 2nd Fundamental Research Symposium, Oxford, U.K., p. 651–690 (1961)

Kerekes, R.J., Energy and forces in refining. *J. Pulp Paper Sci.* 36 (2010) 1–2, 10–15.

Lossada, A. A., Formento, J. C., Pino, A. L., Refining selected actions on chemical pulps in a PFI beater. Part I: effects of radial compression stresses, *Paperi Puu* 83 (2001) 4, 326–331.

Paavilainen, L. (1993). “Conformability - Flexibility and Collapsibility – of Sulphate Pulp Fibres.” *Paperi Puu* 75 (1993) 9, 689–702.

Page, D.H., The beating of chemical pulps – the action and the effects, *Papermaking Raw Materials*, Transactions of the 9th Fundamental Research Symposium, Cambridge, U.K., p.1–37 (1989).

Seo Y. B. , Choi C. , Jeon Y., Effect of mechanical pretreatment on fibre properties, *Appita* 56 (2003) 5, 371.

Seo Y. B. , Jeon Y. , Shin Y. C. , Kim D., Effect of mechanical impact treatment on fibre morphology and handsheet properties, *Appita* vol. 55, no. 6, Nov. 2002b, p. 475.

Tasman, J.E., The mechanical modification of papermaking fibers, *Pulp and Paper Magazine Canada*, Dec. 1966, p. 553.

Wang, X., Maloney, T.C., Paulapuro, H., Fibre fibrillation and its impact on sheet properties. *Paperi Puu* 89 (2007) 3, 148–151.

# UUSIA MITTAUSSOVELLUKSIA TEOLLISUUDEN LIETTEIDEN HALLINTAAN

Markku Kuosa & Riku Kopra

Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulun Kuitulaboratorion Teoli-projektin (Teollisuuden lietteiden energia- ja materiaalitehokkuuden parantaminen) yhtenä tavoitteena on älykkään lietteenkäsittelyn uusilla mittauksilla saavuttaa energian kulutuksen ja käyttökustannusten alentaminen. Samalla kasvatetaan käsittelyn lietteen kuiva-ainepitoisuutta, jolloin lietteestä saadaan enemmän energiaa poltettaessa. Uudet mittausmenetelmät tulevat vähentämään lietepuristimen käyttöenergian tarvetta ja apuaineena käytettävän polymeerin kulutusta.

Nykyisin lietteen kuivauslaitteiden monitorointi perustuu suurelta osin käyttöhenkilöstön kokemukseen ja kameravalvontaan. Teoli-projektissa käytetään konventionaalisten mittausmenetelmien ohella uudenlaisia mittausmenetelmiä, joita ovat viiran läpäisyn mittaaminen infrapuna-alueella, valoverhon käyttö lietekerroksen paksuuden mittaamiseksi viirojen välissä ennen puristusteloja sekä viiran kuvaaminen kameralla konenäkösovellusta varten. Viiran läpäisyn mittaaminen sekä viiran kuvaaminen antavat tietoa viiran puhtaudesta ja tukkeutumistasesta. Aiemmin suotonauhapuristimen toimintaa ei ole mitattu tässä laajuudessa yhdellä kertaa. Huolimatta ankarista olosuhteista (kosteus, värinä ja likaantuminen) mittauslaitteet ovat toimineet hyvin ja mittaustulokset ovat olleet rohkaisevia.

Hankkeen rahoittajat ovat Etelä-Savon ELY-keskus Euroopan aluekehitysrahastosta, Savonlinnan yrityspalvelut Oy, MetsäGroup, UPM Kymmene Oyj, Stora Enso Oyj, Aquaflo Oy, Suur-Savon Energiasäätio, Janesko Oy ja K-Patents Oy.

## TAUSTAA

Metsäteollisuuden jätevesien ja erityisesti lietteen käsittelyssä on tapahtunut erittäin suuria muutoksia. Suurin muutoksen aiheuttaja on ollut vaaleuden nosto paperissa ja kartongissa. Käytännössä tämä on tarkoittanut hapettavien valkaisu-kemikaalien käytön lisäämistä. Vaaleuden nosto on yleisimmin toteutettu alkalisen peroksidivalkaisuvaiheen avulla. Voimakas pH:n nosto on puolestaan lisännyt kemiallista hapenkulutuskormitusta (COD) jäteveden puhdistamolla eli käytännössä biologisella puhdistamolla muodostuva ns. biolietteen määrä on kasvanut. Samaan aikaan tehdasprosesseissa on panostettu kuiturejektijakeiden käsittelyyn eli eri jakeet on mahdollisimman hyvin hyödynnetty lopputuotteessa. Tämä on

taas johtanut kuitujakeen ja täyteaineiden eli ns. primäärilietteen vähenemiseen jätevesissä. Näin ollen lietteen käsittelyssä biolietteen suhteellinen osuus on kasvanut huomattavasti. Tyypillisesti biolietteen suhteellinen osuus on kasvanut väliltä 20–30 prosenttia 40–60 prosenttiin. Tämä on johtanut lietteiden käsiteltävyyden huononemiseen ja puristetun lietteen kuiva-aineen laskuun. Useissa tapauksissa käsitellyn lietteen kuiva-aine on laskenut 10–20 prosenttiyksikköä, mikä tarkoittaa vuositasolla keskimäärin satojen tuhansien eurojen menetystä laskettuna teoreettisesti saavutettavissa olevasta lämpöenergian määrästä. Jos kuiva-aine on välillä 35–45 prosenttia, on sen lämpöarvo välillä 8–14 MJ/kg. Palamisen ylläpitämiseksi lämpöarvon täytyy olla vähintään 5 MJ/kg. Yleisin tapa käsitellä puristettu liete on polttaa se muiden poltettavien jakeiden kanssa kuorikattilassa. Kuiva-aineen osuuden laskun myötä joudutaan poltossa käyttämään niin sanottuja tukipolttoaineita. Lisäksi lietejakeiden määrien vaihtelu on lisääntynyt. Tämä puolestaan aiheuttaa liete-prosessissa jatkuvia muutoksia, jotka lisäävät lietteenkuivausprosessin säädön tarvetta.

Nykyisin lietteenkuivauslaitteiden käyttö perustuu suurelta osin käyttökonekannan kokeemukseen. Lisäksi laitteet ovat pääsääntöisesti vanhoja ja suunniteltu korkeammille tulevan lietteen kiintoainepitoisuuksille.

## **SUOTONAUHAPURISTIMELLE UUSIA MITTAUKSIA**

Biolietteen suhteellisen osuuden kasvu ja erityisesti sen vaihtelu käsiteltävässä lietteessä aiheuttaa prosessin huojumista. Tämä taas aiheuttaa puristetun lietteen kuiva-aineen osuuden laskemisen. Teoli-projektin tämän osion tavoitteena on kartoittaa lietteen karakterisointiin soveltuvia menetelmiä sekä löytää uusia kuivausprosessin mittaustapoja. Tavoitteena on vakioida ja maksimoida polttoon menevän käsitellyn lietteen kuiva-aineen osuus. Lisäksi lietteen käsittelyssä käytettävien kemikaalien määrän tulisi olla mahdollisimman vähäinen.

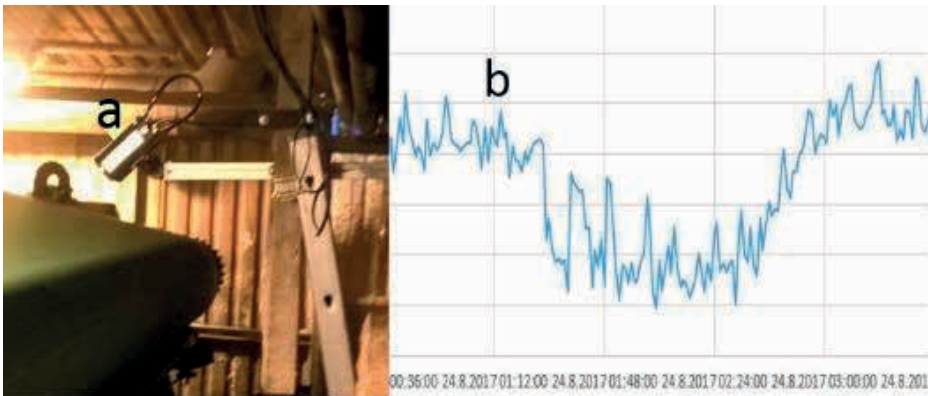
Mittauskohteeksi valikoitui MetsäBoardin Simpeleen kartonkitehtaan lietteenkäsittelyn suotonauhapuristin. Suotonauhapuristimessa liete puristetaan kahden viiran välissä jatkuvatoimisena prosessina. Projektin mittausmenetelmiksi valikoituivat konventionaalisten mittausmenetelmien (suodoksen kiintoainepitoisuus, pH ja sähkönjohtokyky) ohella uudenlaisia mittausmenetelmiä, joita ovat viiran läpäisyn intensiteetin mittaaminen infrapuna-alueella, valoverhon käyttö lieteeroksen paksuuden mittaamiseksi viirujen välissä ennen puristusteloja sekä viiran kuvaaminen kameralla konenäkösovellusta varten. Kameratekniikka on kehitetty Xamkin Elektroniikan 3K-tehtaassa erittäin vaativia teollisuuden olosuhteita varten. Kamerassa on muun muassa pesujärjestelmä, jolla sen koteloinnin etulasi voidaan pestä etäohjatusti tai ohjelmoidusti. Lisäksi mitataan poistettavissa olevan vapaan veden määrää ydinmagneettisella resonanssimenetelmällä (NMR) eri ajoparametreilla, kuten viiran nopeus ja puristusvoima. Viiran läpäisyn mittaaminen sekä viiran kuvaaminen antavat tietoa viiran puhtaudesta ja tukkeutumisasteesta. Valoverhoa käytetään laajasti muun muassa kappaletavaran siirron ohjaukseen eri teollisuuden aloilla, joskaan lietteenkäsittelyn

ohjaukseen tätä ei ole tiettävästi sovellettu. Aiemmin suotonauhapuristimen toimintaa ei ole mitattu tässä laajuudessa yhdellä kertaa. Kuvassa 1 on esitetty valoverhomittaus sekä viiran läpäisyn mittaus suotonauhapuristimella.

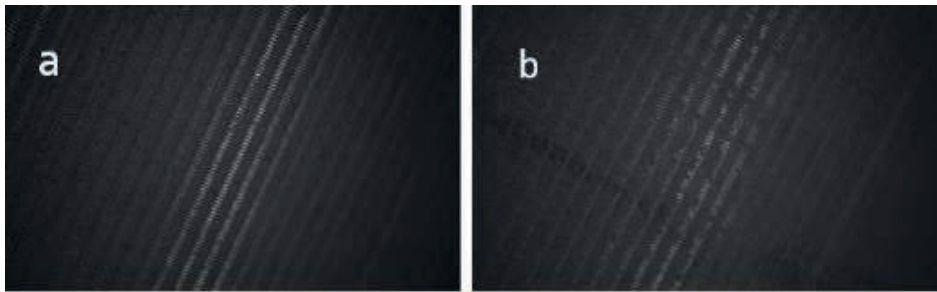


**Kuva 1.** Valoverholähetin a) ja infrapunavalon viiran läpäisyn intensiteetin mittaus b) suotonauhapuristimella (kuvat Markku Kuosa).

Kuvassa 2 on esitetty viiraa kuvaava kamera ja viiran läpäisyn intensiteetin kuvaaja. Kuvassa 3 kameran otokset puhtaasta ja likaantuneesta viirasta.



**Kuva 2.** Kamera kuvaamassa viiraa ennen viiran pesuvaihetta a). Kaksi tuntia kestänyt infrapunavalon viiran läpäisyn intensiteetin alenema polymeerin syötön tukoksen seurauksena b) (kuvat Markku Kuosa).



*Kuva 3. Kameran ottamassa kuvassa puhdas a) ja hieman likaantunut viira b) (kuvat Markku Kuosa).*

## VALITTUJEN MITTAUSLAITTEIDEN TOIMIVUUS

Suonauhapuristimen mittausympäristö on varsin vaativa, koska laitteet joutuvat tekemisiin kosteuden, värinän ja likaantumisen lisäksi vaihteleville ilman rikkivetytitoisuuksille. Rikkivety aiheuttaa muun muassa metallien korroosiota. Mittausten pohjalta tiedetään, että valoverho soveltuu hyvin lietekerroksen paksuuden mittaukseen viirojen välissä. Valoverholähetin- ja vastaanotinpari tarvitsevat pyyhkimisen esimerkiksi kostealla liinalla viikon parin välein. Pyyhinnän tarve riippuu lähettimen ja vastaanottimen sijoittelusta puristimelle sekä lietteen likaavista ominaisuuksista (roiskeet jne.). Käytetty infrapunavalon viiran läpäisyn mittaus antaa tietoa viiran likaantumisesta odotetusti, eikä se käytännössä ole tarvinnut huoltoa tai puhdistusta. Anturien puhdistustarve on kuitenkin arviolta muutamana kuukauden välein. Viiran kuvaukseen käytettävä kamera on tarvinnut hyvin vähän huoltoa. Suodosveden mittalaitteet ovat toimineet myös odotetusti. Mittauslaitteet ovat toimineet ilman vikoja tai korjaustarvetta, joten ne ovat kestäneet mittauspaikan vaativia olosuhteita erinomaisesti.

# LIUENNEEN KUIVA-AINE- MITTAUKSEN HYÖDYNTÄMINEN SELLUTEHTAAN HAPPIVAIHEEN TOIMINNAN SEURAAMISESSA

Riku Kopra

Kuitulaboratoriossa on aiemmin tutkittu menestyksekkäästi refraktometriteknologian hyödyntämistä sellutehtaan ruskean massan pesun alueella pesuhäviön indikaattorina. Prosessirefraktometri mittaa liuennan kuiva-aineen pitoisuuden summaparametrina. Prosessirefraktometreissa käytetään perusaallonpituuksista (sininen-keltainen-punainen) natriumkeltaista valonlähdettä. Keltaista valoa on ollut mahdollista tuottaa laboratorio-olosuhteissa jo vuosisatojen ajan polttamalla natriumia.

Teoli-projektissa tutkimme ruskean massan pesun jälkeisen happivaiheen toimintaa hyödyntäen kyseistä refraktometriteknologiaa. Mittaukset asennettiin happivaiheen syöttöön ja reaktorin kylkeen tornin loppuosaan. Refraktometreilla saimme laskettua happivaiheessa massasta nesteeseen liuennan aineen määrää reaaliaikaisesti, liuennan aineen muutokseen perustuen happivaiheen saantoa sekä reaktorin aikaviivettä. Teoli-projektin päärahoittaja on Etelä-Savon ELY-keskus Euroopan aluekehitysrahastosta. Projektia ovat rahoittaneet myös seuraavat tahot: Janesko Oy, StoraEnso Oyj, UPM-Kymmene Wood Oy, Metsä Group, Aquaflo Oy, Suur-Savon Energiasäätiö ja Savonlinnan Yrittäjäpalvelut Oy.

## JOHDANTO

Happidelignifointi on prosessi, jossa sellusga poistetaan keiton jälkeen jäännösligniiniä hapen ja alkalien avulla. Happidelignifointivaihetta voidaan pitää sekä ympäristönsuojeluun että taloudellisuuteen liittyvänä investointina. Happivaihe on yleensä suora jatke keiton delignifointitapahtumalle, ja hyvän delignifointitehokkuuden kannalta toivottuja reaktioita ovat ligniinin hapettuminen ja hajoaminen alkaliin liukeneviksi osiksi sekä ligniinin värillisten ryhmien tuhoutuminen ja massassa olevien epäpuhtauksien (esim. pihkan) poistuminen. Happivaiheen tärkein tavoite on siis jatkaa keitossa alkanutta delignifioitumista eli ligniinin poistamista. Happidelignifoinnin avulla päästään myös kuitulinjalla yleensä pienempiin valkaisuun jätevesipäästöihin kuin linjalla, jossa ei ole happivaihetta ennen valkaisuuta.

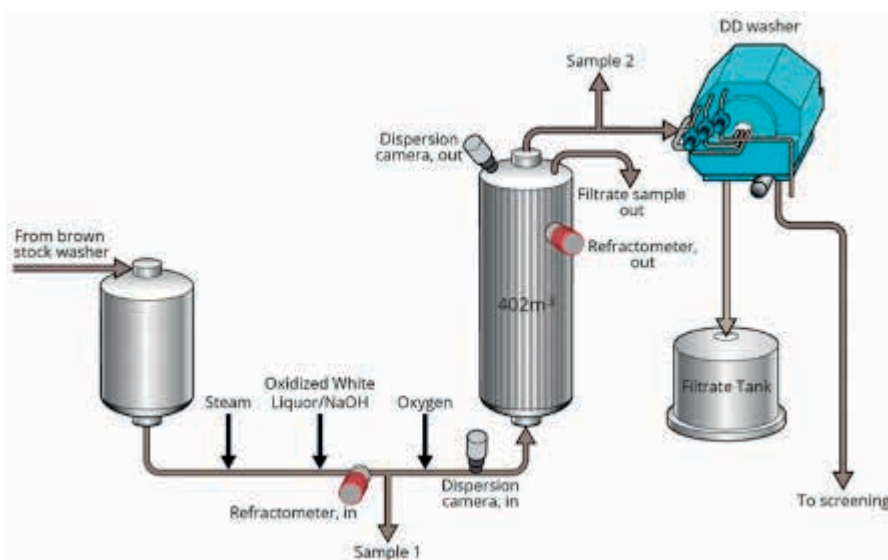
Prosessimuuttujat, kuten sakeus, lämpötila, paine, alkalinen ja hapen määrä sekä pesuhäviö ja inhibiittorit, kuten magnesiumsulfaatti, vaikuttavat happivaiheen toimintaan. Agarwal et al. ovat todenneet, että sakeudella ei ole merkittävää vaikutusta kappareduktioon, jos sekoitus on riittävä. Teollisessa ympäristössä sekoitus ja massansiirto eivät ole kuitenkaan täydellisiä. Elton et al. osoittivat, että korkeamman sakeuden seurauksena saadaan alhaisempi diffuusioetäisyys ja korkeampi alkalikonsentraatio käytetyllä alkaliannoksella. Alkali ja lämpötila ovat tärkeimmät parametrit, jotka vaikuttavat delignifointiprosessiin happivaiheessa. Koska happi on heikko hapetin normaalissa molekyylitulassa, on välttämätöntä edistää sen reaktiota nostamalla lämpötilaa ja/tai aikaansaamalla emäksisiä olosuhteita siten, että happi on reaktiivisempi ligniinirakenteiden purkamiseen. Happiannos itsessään ei ole niin tärkeässä roolissa kuin alkaliannos ja lämpötila. Hapen osalta on kuitenkin tärkeää, että riittävä määrä happea on läsnä läpi happivaiheen, jotta saavutetaan haluttu delignifointumistaso. Kuitenkin jos happea lisätään liikaa, se voi puolestaan aiheuttaa suurempien kaasukuplien muodostumista ja kanavoitumista, mikä taas voi vähentää happivaiheen tehokkuutta. Korkeampi paine näyttäisi helpottavan hapen diffuusiota, ja vain liennut happi voi reagoida ligniinin fenoliryhmien kanssa.

Pesuhäviön kasvu ennen happivaihetta voi aiheuttaa taasen massan viskositeetin, lujuuksien ja saannon heikentymistä. Magnesiumsuolat prosessissa parantavat happidelignifoinnin selektiivisyyttä ja johtavat korkeampaan viskositeettiin tietyllä kappaluvulla. Edellä mainitusti happidelignifoinnissa tapahtuvaa ligniinin poistumista arvioidaan kappaluvulla ja hiilihydraattien pilkkoutumista viskositeetilla. Kappaluku kuvaa jäännösligniinin määrää massassa ja viskositeetti selluloosamolekyylin pituutta, eli viskositeetin avulla voidaan arvioida massan lujuuksia. Tämän työn tavoitteena oli tutkia prosessimuuttujien vaikutusta liuenneeseen aineeseen, kappaan ja massan laatuun.

## **MATERIAALIT JA MENETELMÄT**

Tutkimus toteutettiin asentamalla kaksi jatkuvatoimista liuenneen kuiva-aineen konsentraatiota (TDS) mittaavaa refraktometrimittausta happivaiheen syöttöön sekä reaktorin huipulle suomalaisessa lyhytkuitusellutehtaassa (kuva 1). Mittaukset asennettiin siten, että happivaiheen toiminnan arviointi oli mahdollista.





**Kuva 1.** Mittausjärjestely sellutehtaan happivaiheessa (Kopra et al. 2017).

Tehdaskokeet tehtiin happivaiheen toiminnan optimoimiseksi muuttamalla hapen ja alkalin annosta, happisekoittimen kierrosnopeutta, käyttöpainetta ja lämpötilaa. Tehdaskokeet toteutettiin kahdessa viikon kestäneessä jaksossa. Käytetty alkali ensimmäisellä testiviikolla oli hapetettu valkolipeä ja toisella viikolla NaOH (14 %). Happiannos oli 5–6.5–8 kg/ADt, mikserin kierrosnopeus 1000–1088–1175 rpm, käyttöpaine 280–330–380 kPa ja syöttölämpötila 90–92.5–95°C. Sakeus oli melko vakio, noin 11 prosenttia. Alkaliannosta säädettiin siten, että pH oli noin 10,5 reaktorin poistomassassa. Testiviikolla 1 oli kymmenen koepistettä, ja testiviikolla 2 oli 15 pistettä.

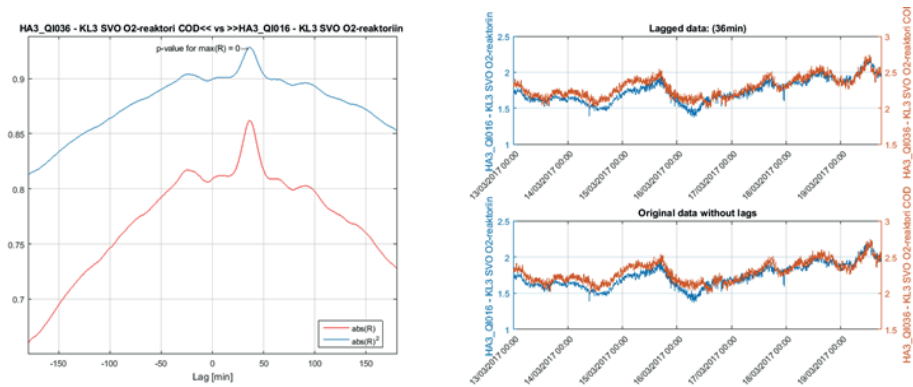
Massanäytteitä otettiin happivaiheen syötöstä (sample 1) ja happireaktorin jälkeen (sample 2) (kuva 1). Kappa ja viskositeetti mitattiin massanäytteistä. Lisäksi massanäytteistä puristettiin viiran läpi suodosta näytteenoton jälkeen. pH, johtokyky ja COD-pitoisuus mitattiin suodoksista. Näytteet analysoitiin käyttämällä seuraavia menetelmiä:

- Kuiva-ainepitoisuuden määrittäminen (analytical), (ISO 638)
- Kuiva-ainepitoisuuden määrittäminen (on-site), refractometer
- Johtokyky (on-site), Mettler Toledo Conductometer
- pH (on-site), Mettler Toledo Conductometer
- Suodoksen COD, näytteet suodatettiin käyttämällä 1.6 µm:n GF/A-paperia ja sitten analysoitiin COD-analysaattorilla (ISO 15705)
- Massan kappaluvun määrittäminen (ISO 302)
- Massan viskositeetin määrittäminen (ISO 5351-1).

# TULOKSET

## HAPPIVAIHEEN AIKAVIIVEEN LASKENTA

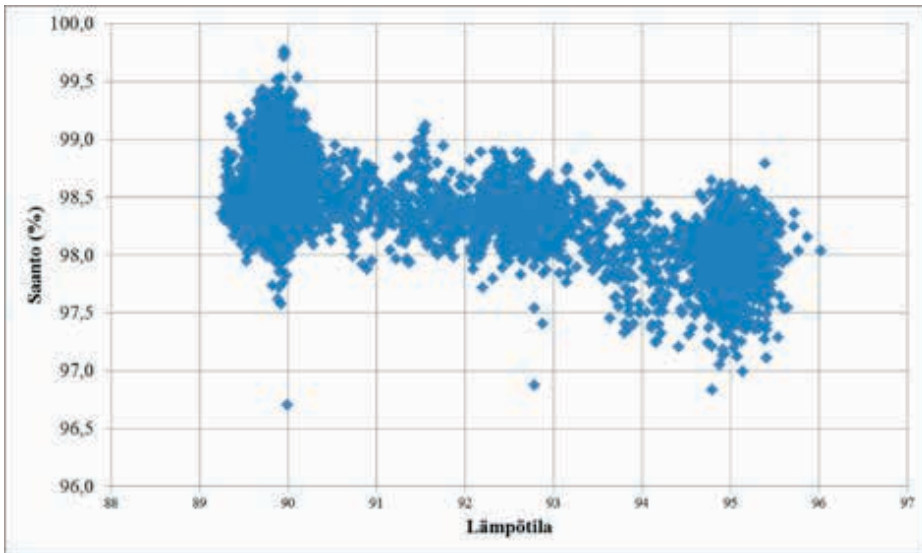
Oletetusti keskisakeusmassa virtaa happireaktorissa tulppavirtauksen tavoin. Kaasuvirtaus saattaa kuitenkin etsiä helpomman kulkureitin, mikä voi johtaa kanavoitumiseen. Kiintoaines, joka on liennut massasta suodokseen, näyttäisi käyttäytyvän myös tulppavirtauksen tavoin. Mittaamalla liuennun aineen kokonaismäärän (TDS) ennen ja jälkeen happivaiheen ja kohdistamalla nämä kaksi mittausta voidaan laskea reaktorin aikaviivettä. Kuvassa 2 oikealla on esitetty, kuinka aikaviivelaskenta toteutettiin käyttämällä TDS-mittauksia. Aikaviiveen keskiarvo oli 36 minuuttia mittausten välillä. Oikeanpuolisen kuvan käyrien erot johtuvat tuotannon muutoksista, jolloin aikaviive erosi 36 minuutin keskiarvosta. Refraktrometrimittauksista lasketut aikaviiveet olivat linjassa happivaiheen syöttölitroissa lasketun viiveen kanssa, kuten vasemmasta kuvasta voidaan havaita.



*Kuva 2. Happivaiheen aikaviiveen laskenta (Kopra et al. 2017).*

## HAPPIVAIHEEN SAANNON LASKENTA

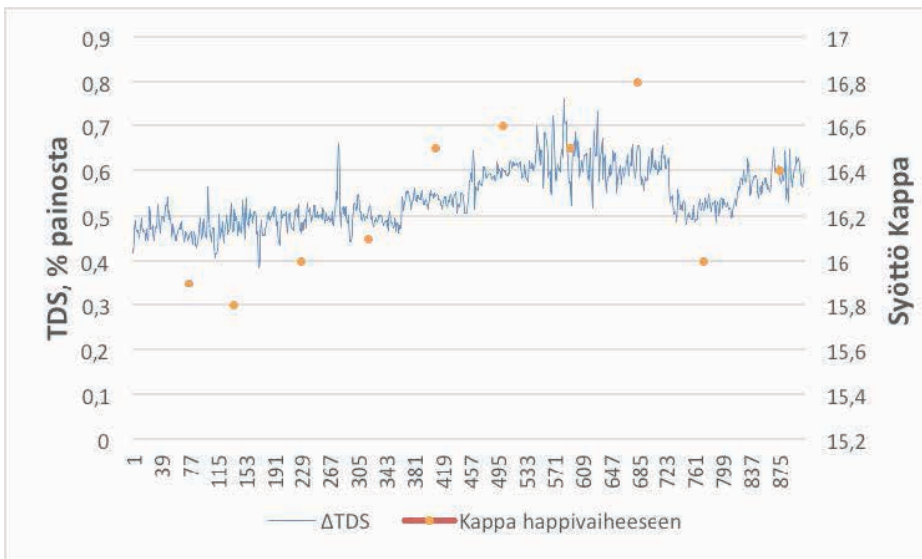
Kuvassa 3 on esitetty happivaiheen saanto lämpötilan funktiona. Saanto näyttäisi heikkenevän, kun lämpötila lisääntyy. Alhaisempi lämpötila johtaa korkeampaan saantoon happivaiheessa, mikä johtaa alhaisempaan puun kulutukseen, jos happivaiheen korkeampi saanto voidaan viedä läpi valkaisuun. Saadut saantotulokset ovat alhaisempia kuin kirjallisuuden perusteella voitaisiin olettaa.



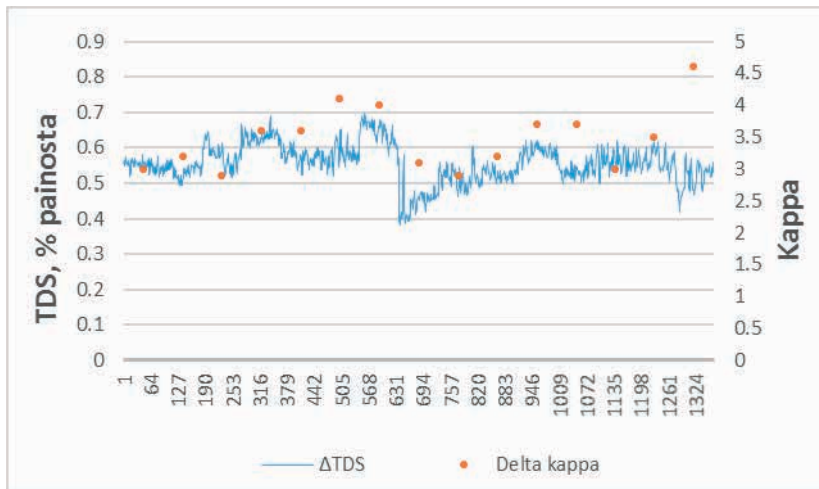
*Kuva 3. Happivaiheen saantolaskelma lämpötilan funktiona.*

## LIUENNUT KUIVA-AINE VERRATTUNA KAPPAAN

Refraktometrimittaukset mahdollistivat myös reaktorissa tapahtuvan liuennon kuiva-aineen muutoksen (delta-TDS) laskemisen. Kuten kuvista 4 ja 5 voidaan havaita, delta-TDS korreloi selvästi sekä happivaiheen syöttökappaan että kappan muutokseen (delta-kappa).



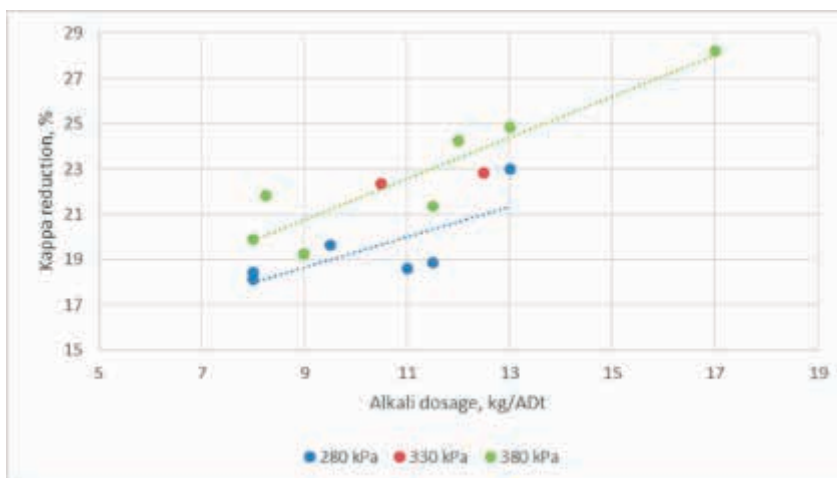
*Kuva 4. ΔTDS ja syöttökappa happireaktoriin (testiviikko 1).*



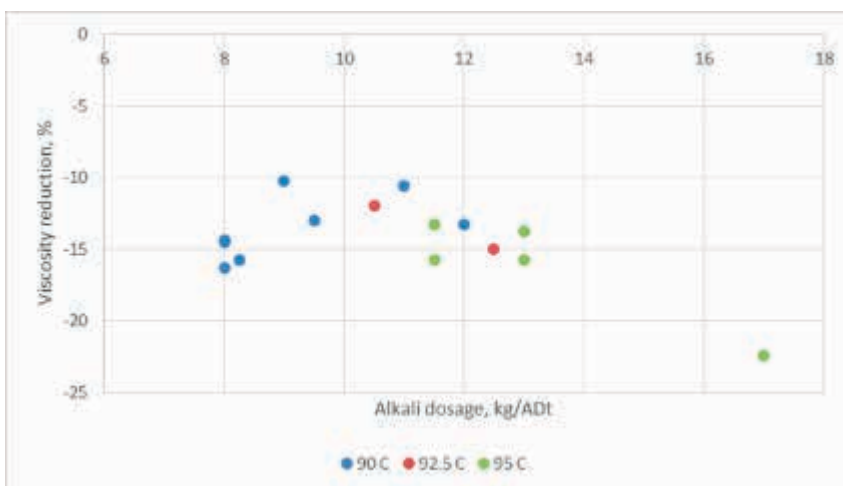
**Kuva 5.**  $\Delta$ TDS ja  $\Delta$ kappa happireaktorissa (testiviikko 2).

## KAPPAREDUKTIO JA MASSAN LAATU

Kuvassa 6 on esitetty kappareduktio alkaliannoksen funktiona eri käyttöpaineilla. Alkaliannoksella oli voimakkain vaikutus kappareduktioon, kun NaOH:a käytettiin alkalien lähteenä koeviikolla 2. Alkaliannoksen nostaminen kahdeksasta 17:ään kg/ADt lisäsi kappareduktiota kahdeksalla prosenttiyksiköllä (20 → 28 %). Käyttöpaineen nosto tehosti delignifikaatiota. Kappareduktio parani kolme prosenttiyksikköä samalla alkaliannoksella, kun painetta nostettiin 280:sta 380:aan kPa:iin. Massan laatu heikkeni lähinnä johtuen lisäystä alkaliannoksesta ja lämpötilasta, kuten voidaan havaita kuvasta 7. Toisaalta viskositeettiin painemuutokset eivät vaikuttaneet. Tästä johtuen happivaiheen delignifikaation tehostaminen on mahdollista ilman negatiivista vaikutusta massan laatuun lisäämällä käyttöpainetta 280:sta 380:aan kPa:iin.



**Kuva 6.** Kappareduktio alkaliannoksen funktiona eri paineilla (testiviikko 2) (Kopra et al. 2017).



**Kuva 7.** Viskositeettireduktio alkaliannoksen funktiona eri lämpötiloilla (testiviikko 2) (Kopra et al. 2017).

## JOHTOPÄÄTÖKSET

Jatkuvatoiminen TDS-mittaus mahdollistaa reaaliaikaisen happivaiheen seurannan. Seuraavassa spesifisemmät johtopäätökset:

- Mittaukset mahdollistivat happireaktorissa tapahtuvan liuennan kuiva-aineen muutoksen laskennan (deltakonsentraatio). Tämä korreloi kohtalaisesti kappamuutoksen kanssa. Todettiin myös, että lämpötila korreloi liuennan aineen käyttäytymisen kanssa.
- TDS-mittaukset happivaiheen syötössä ja reaktorin yläosassa mahdollistivat uuden tavan laskea viivettä reaktorissa. Jos edellä mainituissa mittauksissa oli kohdistettu- eroa, oli tämä merkki mahdollisesta holvaantumisesta reaktorissa. Normaalisti MC-massa kuitenkin käyttäytyy tulppavirtauksen tavoin.
- Mittaukset mahdollistivat myös happivaiheen saannon laskemisen. Tämä vaati kuitenkin muitakin tehtaan järjestelmän mittauksia ja laskentaa.

## LÄHTEET

Agarwal, S., Kinetics of Oxygen Delignification, Journal of Pulp and Paper Science, vol. 25, no. 10, 1999, pp. 361–366.

Elton, E., Magnotta, V., Markham, L and Courchene, C., New Technology for Medium-Consistency Oxygen Bleaching, TAPPI, vol. 63, no. 11, 1980, pp. 79–82.

Kopra, R., Mutikainen H., Pesonen A., Käyhkö J. ja Tervola P. Using online total dissolved solids (TDS) measurements for investigating the performance of oxygen delignification. IPBC 2017 conference, Porto Seguro, Bahia, Brazil, 28–30.8.2017

# KAASUDISPERSION TILAN MITTAAMINEN SELLUTEHTAAN HAPPIVAIHEESSA JATKUVA-TOIMISELLA IN-LINE-KUPLA-KUVAUKSELLA

Jari Käyhkö & Heikki Mutikainen

Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulun Kuitulaboratoriossa on pitkäjänteisesti kehitetty kuvantamiseen perustuvaa kupladispersion kokojakauman mittaamenetelmää muun muassa yhteistyössä Andritzin, Pixactin, StoraEnson ja Metsä Fibren kanssa sekä selvitetty dispersion laatua ja vaikutuksia happivaiheessa. Laboratoriokokeiden lisäksi on kerätty kokemuksia sekä pitkäkuituiselta havusellua tuottavalta tehtaalta että viimeisimmäksi lyhytkuituiselta koivusellutehtaalta. Kehitetyllä mittauksella voidaan havainnoida kuplako-kojakaumaa riittävällä tarkkuudella, ja mittaus voi toimia itsenäisesti ja luotettavasti pitkiä aikoja ilman likaantumista tai muita huoltoa vaativia ongelmia. Koivusellulinjalla dispersion kuplakoko oli huomattavasti suurempi kuin havusellulinjalla. Lisäksi molemmilla linjoilla tapahtui kuplakoossa pitkällä aikavälillä merkittävää vaihtelua. Tekemällä tuotannon salimissa rajoissa askelvastekokeita ja seuraamalla muutoksia kuplakuvauslaitteistolla saatiin tietoa hapen käyttäytymisestä ja osittain jopa kuplakoon vaikutuksista prosessivasteisiin. Kehitetty mittaamenetelmä antaa maailmalaajuisesti täysin uusia mahdollisuuksia tutkia ja säätää happivaiheen toimintaa sekä uusia työkaluja myös laitteistosuunnitteluun. Tässä artikkelissa kuvataan kuplakuvauksen kehityshistoria, merkittävimmät tulokset sekä jatkosuunnitelmat.

## JOHDANTO

Happivaihe kemiallisen massan delignifoinnissa otettiin laajemmin käyttöön noin 30 vuotta sitten, jolloin yhtenä päätavoitteena oli ympäristölle haitallisten kloorikemikaalien käytön vähentäminen. Nykyisin happivaihe on erittäin olennainen osa kustannustehokasta ja ympäristöystävällistä kemiallisen massan valmistusta. Maailmassa käsitellään vuosittain happidelignifoinnilla noin 100 miljoonaa tonnia kuitumateriaalia. Tyypillisen keskisakeus-happireaktorin tilavuus on luokkaa 500 kuutiota ja korkeus noin 30 metriä.

Olennaista happidelignifoinnissa on hapen dispergoituminen tarpeeksi pieniksi kupliksi, jotta happi pääsee liukenemaan ja siten osallistumaan delignifointireaktioihin. Hapen

liukoisuus kyseisissä prosessiolosuhteissa on vain viiden prosentin luokkaa reaktoriin syötetystä hapen määrästä, joten happidispersion täytyy olla riittävän stabiili, jotta liuottavaa kaasu–nestepinta-alaa on jäljellä myös reaktorin loppuosassa.

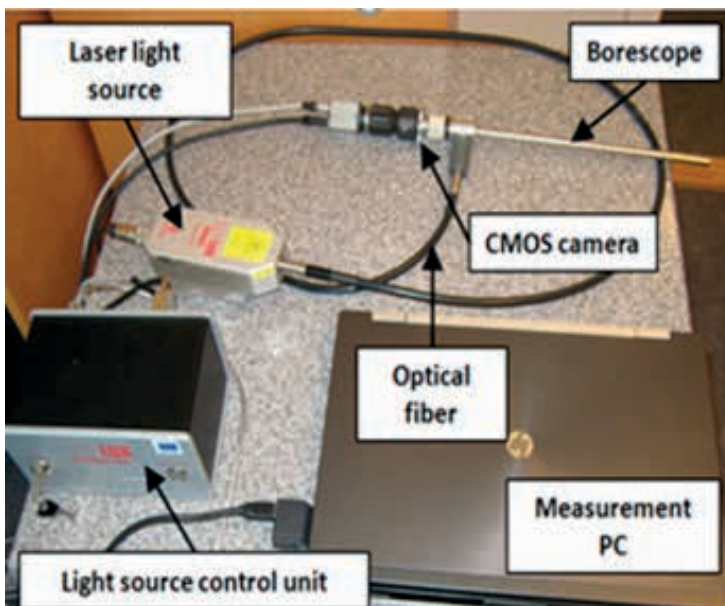
Asian tärkeydestä huolimatta dispersion laatua ja tämän vaikutuksia prosessiin on tutkittu hyvin vähän laboratorio-olosuhteissa ja tehdasolosuhteissa ei juuri lainkaan. Yleisesti ottaen laboratoriossa tehdyt tutkimukset on tehty puhtaammilla massoilla kuin mitä prosessissa esiintyy, ja tämän johdosta havaitun dispersion kuplakoko on ollut huomattavasti suurempi kuin käytännön olosuhteissa. Tällöin on jopa vedetty hieman virheellisiä päätelmiä hapen käyttäytymisestä prosessissa. Lisäksi aineensiirron merkityksestä happidelignifoinnissa on tehty erinomaisia laskennallisia mallinnuksia (Heiningen et al. 2003), mutta näissäkin aineensiirto on mallinnettu laboratorioreaktorilla saatujen tulosten perusteella, jotka vastaavat huonosti käytännön olosuhteita ja eivät tietenkään perustu oletettuun/havainnoituun happidispersion ja tämän vaikutukseen aineensiirtoprosessissa.

## KUPLAKUVAKSEN KEHITYSTYÖ

Kuitulaboratoriossa on tehty kuvantavia prosessimittauksia jo noin kymmenen vuoden ajan. Ensimmäisenä tutkimuskohteena oli kuitujen nopeuden määrittäminen painelajittimen sihdin raossa (Mankki 2008). Tutkimukset toteutettiin boroskooppimittausratkaisulla ja valaisu kahdella tehokkaalla stroboskoopilla. Lisäksi kuitulaboratorion tärkeimpiä tutkimushaaroja ovat isojen (kuitu)prosessien sekoitusilmiöt, ja näiden osalta laboratoriossa on muun muassa tutkittu ja pilotoitu kemiallisen massan valmistuksessa käytettävien kemikaalisekoittimien toimintaa kiinteässä yhteistyössä Andritzin kuituosaston kanssa. Näiden toimintojen myötä heräsi ajatus, voisiko kuvantavalla menetelmällä myös mitata kaasudispersion kuplakokojakaumaa happidelignifointia vastaavissa olosuhteissa. Aiheesta tehtiin vuosien 2009–2011 aikana kolme diplomityötä. Ensimmäisessä diplomityössä (Rantala 2010) laboratoriomittakaavan Mark IV MC -valkaisureaktorilla muun muassa havaittiin, että kuplat pystytään kuvaamaan riittävällä tarkkuudella, jotta menetelmää kannattaa kehittää eteenpäin. Toisessa diplomityössä (Mutikainen 2011) kokeita laboratorioreaktorissa jatkettiin (Kuva 1) ja menetelmää kehitettiin muun muassa vaihtamalla stroboskooppivalaisu tehokkaampaan laservalaisukseen (kuva 2). Kolmannessa diplomityössä menetelmää jo sovellettiin pilot-mittakaavaisen happisekoittimen toiminnan tutkimiseen kuitulaboratorion MC-luopissa (Kumpulainen 2011).



*Kuva 1. Kuplakuvantamislaitteisto Mark IV MC -valkaisureaktorissa (kuva Heikki Mutikainen).*

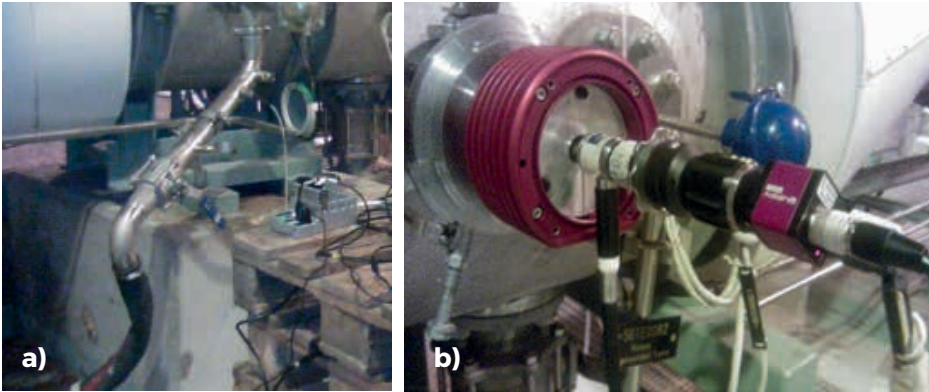


*Kuva 2. Laservalaisuun perustuva kuplakuvantamislaitteisto (kuva Heikki Mutikainen).*

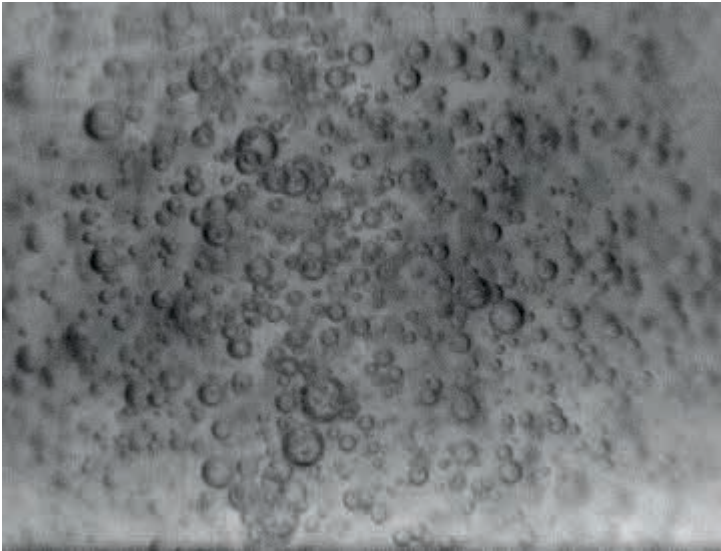


## TEHDASTUTKIMUKSET KUPLAKUVANTAMISLAITTEELLA

Tutkimuksia jatkettiin PulpVision-hankkeessa (TEKES/EAKR) viemällä laitteisto sellutehtaalle, jossa ensimmäiset kuvaukset tehtiin ohivirtausputkessa (kuva 3a) ja tämän jälkeen suoraan päävirrassa (kuva 3b). Kuvassa 4 on esimerkki saadusta kuvausaineistosta.



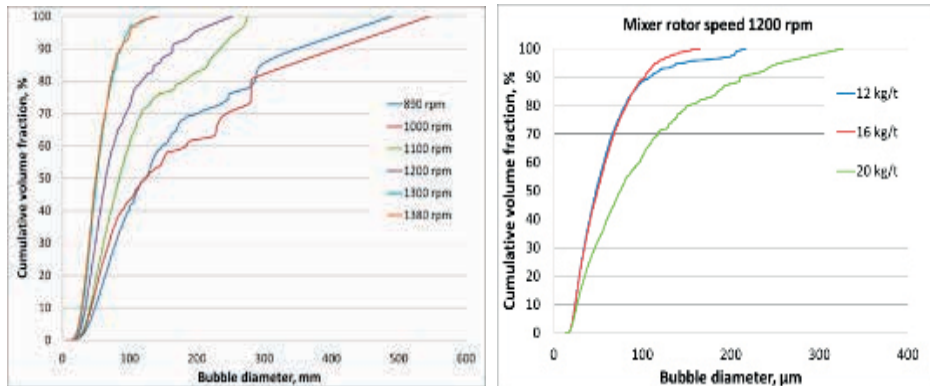
*Kuva 3. a) Kuplakuvausputkessa. b) Kuplakuvantamislaitteisto päävirrassa (kuvat Jari Käyhkö).*



*Kuva 4. Kuplakuva prosessin päävirrasta (kuva Heikki Mutikainen).*

Mittausdataa hyödyntäen kehitettiin myös yhteistyössä LUT:n ja Kuopion yliopiston kanssa konenäköön perustuvia menetelmiä kuplakokojakauman määrittämiseksi automaattisesti (Liukkonen et al. 2015, Mutikainen et al. 2015).

Olennaista oli, että tehdastutkimuksissa menetelmä havaittiin toimivaksi, saatiin ensimmäistä kertaa maailmassa tietoa dispersion laadusta tehdasolosuhteissa ja muun muassa pystyttiin todentamaan, kuinka eri tekijät vaikuttavat happidispersioon kuplakokojakaamaan (kuva 5).



*Kuva 5. Sekoittimen kierrosnopeuden ja happiannoksen vaikutus happidispersioon kuplakokojakaamaan (Mutikainen et al. 2015).*

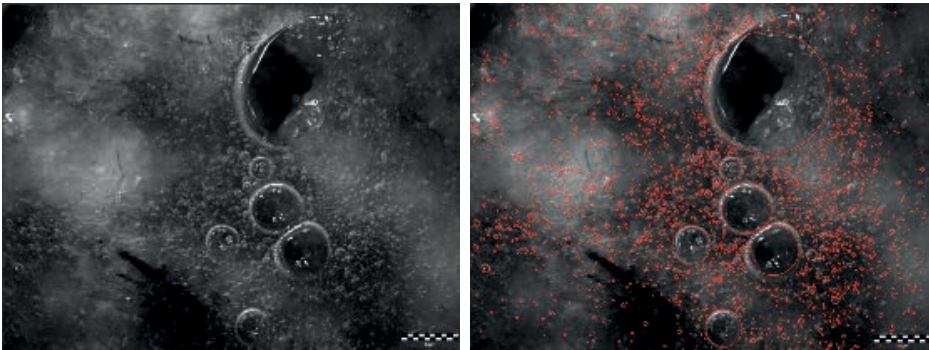
## TEHDASTUTKIMUKSET JATKUVATOIMISELLA KUPLAKUVANTAMISLAITTEELLA

Onnistuneiden tehdasmittausten myötä tutkimuksia jatkettiin Fokudemo-hankkeessa (TEKES/EAKR), jossa yhteistyössä Pixact Oy:n kanssa toteutettiin jatkuvatoiminen in-line-mittaus (kuvat 6 ja 7), testattiin tämän toimintaa kahdessa eri tehtaassa sekä pyrittiin karakterisoidaan dispersiota ja sen roolia pitkäaikaisilla tehdasseurannoilla ja tehdaskoeajoilla.

Tehdastutkimuksissa saatiin todennettua menetelmän toimivuus ja toimintarajat, kerättyä dataa dispersion vaihteluista pitemmällä aikavälillä sekä tietoa siitä, kuinka eri tekijät vaikuttavat dispersion laatuun. Tehdastutkimuksista on kerrottu lisää tämän julkaisun kappaleessa ”Fotoniikkasensori- ja korkean teknologian kuvantamisen demonstrointi metsäbiojalostamon hallintaan – Fokudemo -hanke” sekä Fokudemo-hankkeen loppuraportissa (Havia ja Käyhkö 2017) ja tuoreessa alan konferenssijulkaisussa (Mutikainen et al. 2017).



**Kuva 6.** a) Kuplakuvantamislaitteisto, vasemmalla Jari Käyhkö ja oikealla Heikki Mutikainen (kuva Maria Hakala). b) Kuplakuvantamislaitteisto asennettuna prosessiin (kuva Jari Käyhkö).



**Kuva 7.** a) Laitteiston ottama alkuperäinen kuva ja b) kuvasta automaattisesti tunnistetut kuplat. Alalaidassa näkyvän palkin pituus on 1 mm. Tunnistusohjelma pystyy käsittelemään noin kaksi kuvaa sekunnissa. (Mutikainen et. al. 2017).

## YHTEENVETO JA JATKOSUUNNITELMAT

Happidelignifiointi on keskeinen vaihe kemiallisen massan valmistusprosessissa, ja hapen sekoitus sekä sen dispergoituminen on perusedellytys happivaiheen toiminnalle. Dispergoitumista ja happidispersioin merkitystä prosessin kannalta ei ole maailmassa muiden toimesta tutkittu, ja Kuitulaboratorio on ensimmäisenä toteuttanut mittausjärjestelmän, jolla disperسیون kuplakokoa voidaan mitata MC-massasta ja vielä jatkuvatoimisena in-line-mittauksena.

Prosessin tutkimus- ja seurantasovellusten lisäksi mittauksia voisi olla mahdollista käyttää säätöön sijoittamalla mittaus reaktorin yläosaan, toteamalla jäännöshapen määrä ja disper-

goitumisaste ja säätämällä näiden mukaan syötettävän hapen määrää ja dispergoitumiseen vaikuttavia tekijöitä, kuten happisekoittimen kierrosnopeutta. Tärkein kysymys tässä on se, mikä on optimaalinen jäännöshapen määrä ja dispergoitumisaste tai näiden yhdessä muodostama kaasun pinta-ala. Prosessikohtaisilla arvioilla ja kokeilla likiarvo kyseisille suureille voisi olla mahdollista kartoittaa. Toisena mahdollisuutena on arvioida laskennallisesti liunneen hapen määrää reaktorissa suhteessa saturaatiopisteeseen, kun happikaasun kuplajakausa reaktorin syötössä ja tarvittavat muut prosessisuureet tunnetaan. Tämän tyyppisiä laskennallisia tarkasteluja on tehty muun muassa Mainen yliopistossa Yhdysvalloissa professori Adriaan Van Heiningenin tutkimusryhmässä, mutta heillä ei ole ollut tällöin käytössä prosessin kuplakokodataa, ja aineensiiirto on arvioitu karkeammilla laskennallisilla menetelmillä. Kyseiseen ryhmän kanssa on suunnitteilla yhteistyötä, jossa toteutettaisiin tarkempi laskennallinen tarkastelu perustuen esimerkiksi nyt tehtailta saatuun kuplamittaus- ja prosessidataan. Menetelmälle voisi löytyä myös sovelluskohteita muualta biotuote-, vesi- tai muista prosesseista.

Kuvantamislaitteisto on tällä hetkellä käytössä eräällä sellutehtaalla, ja jatkotutkimuksia on suunniteltu ensisijaisesti toteutettavaksi osana Tekesiltä haussa olevaa ”GasOpti – Kaasujen hallinnan älykkäät sovellukset biojalostamo- ja vesiprosesseissa” -hanketta.

## LÄHTEET

Havia, E., Käyhkö, J., (toim), Fotoniikkasensori- ja korkean teknologian kuvantamisen demonstrointi metsäbiojalostamon hallintaan (FOKUDEMO), loppuraportti. [julkaistaan vuonna 2017 XAMK:n julkaisusarjassa].

Heiningen A., Krothapalli, D., Genco, J., Justason, A., A chemical reactor analysis of industrial oxygen delignification. *Pulp & Paper Canada* 104:12(2003), pp. 96–101.

Kumpulainen, T. The dispersion of gas in a mill-size medium consistency pulp mixer. Master's thesis (in Finnish). Lappeenranta University of Technology (LUT). 2011

Liukkonen Mika, Mutikainen Heikki, Käyhkö Jari, Peltonen Kari and Hiltunen Yrjö, Approach for Online Characterization of Bubbles in Liquid by Image Analysis: Application to Oxygen Delignification Process. *International Journal of Computer Information Systems and Industrial Management Applications*. ISSN 2150-7988 Volume 7 (2015) pp. 181–188

Mutikainen Heikki, Kopra Riku, Pesonen Anna, Hakala Maria, Honkanen Markus, Peltonen Kari, Käyhkö Jari. Measurement, state and effect of the gas dispersion on the oxygen delignification. IPBC 2017 International Pulp Bleaching Conference. August 28–30 2017. Porto Seguro, Bahia – Brazil.

Mutikainen Heikki, Strokina Nataliya, Eerola Tuomas, Lensu Lasse, Kälviäinen Heikki, Käyhkö Jari, On-line Measurement of the Bubble Size Distribution in Medium-Consistency Oxygen Delignification, *Appita* 68(2015):2, 159–164.

Mutikainen Heikki, Peltonen Kari, Tirri Tapio, Käyhkö Jari, Characterization of Oxygen Dispersion in Medium-Consistency Pulp Mixing. *Appita* 66(2013): 4, 1–6.

Mutikainen, H., 2011. Characterization of oxygen dispersion in a laboratory mixer. Master's thesis (in Finnish). Lappeenranta University of Technology (LUT).

Mankki Aki, 2008. Lajittumisen dynamiikka epäpuhtauksien ja kuitujen painelajittelussa, Diplomityö, Lappeenrannan Teknillinen Yliopisto (LUT), paperiteknikan laboratorio.

Rantala, J.-P., 2010. The control of bubble size distribution in oxygen delignification. Master's thesis (in Finnish). Lappeenranta University of Technology (LUT).

# KUITULABORATORION YHTEISTYÖ NORTH CAROLINA STATE UNIVERSITYN KANSSA

Jari Käyhkö & Emmi Kallio

Kuitulaboratorion tärkeä tutkimusalue jo toiminnan alusta asti on ollut paperi- ja kartonkikoneiden märkäosan kemikaalien käyttö ja erityisesti näiden syöttö prosessiin. Lähiaikoina Kuitulaboratorio on tiivistänyt yhteistyötä alan merkittävän osajan North Carolina State Universityn (NCSU) metsäbioraaka-aineiden osaston ja professori Martin A. Hubben kanssa. Tärkeimmät tapahtumat ovat olleet Tiina Saarion tutkijavierailu kyseiseen yliopistoon sekä Kuitulaboratorion merkittävä rooli valmisteilla olevassa uudessa alan käsikirjassa ”Wet end chemistry of paper making”, jonka Hubbe toimittaa. Tässä artikkelissa kuvataan lyhyesti NCSU-yhteistyön taustat sekä Kuitulaboratorion kontribuutio ja sen merkitys edellä mainitussa käsikirjassa.

## TAUSTAA

Kuitulaboratoriossa on jo pitkään tutkittu paperikoneen märkäosan kemikaalien käyttöä ja erityisesti näiden syöttöä prosessiin yhteistyössä alan yritysten ja erityisesti paikallisen Wetend Technologies -yrityksen kanssa. Yritys toimittaa kehittyneitä syöttölaitteita paperikoneille. Yrityksen syöttölaitteiden avulla kemikaalien syöttäminen koneelle voidaan suorittaa juuri ennen rainausvaihetta, mikä poikkeaa perinteisistä syöttöratkaisuksista. Kemikaalien syöttämisessä käytetään prosessin omaa materiaalia (esim. perälaatikon syöttömassaa), jolloin kemikaalin syöttönopeus on merkittävästi suurempi kuin perinteisissä menetelmissä ja kemikaalien sekoittuminen prosessin päävirtaan tapahtuu alle sekunnissa. Lisäksi useampi kemikaali voidaan annostella prosessivirtaan yhtäaikaaisesti. Kuitulaboratorio on tutkimuksissaan keskittynyt selvittämään kemikaalien sekoitustapahtuman ilmiöitä ja ymmärtämään teknologian toimintaa.

North Caroline State Universityn (NCSU) metsäbioraaka-aineiden osasto (Department of Forest Biomaterials) on hyvin arvostettu alan toimija kansainvälisesti. Osasto kouluttaa osaajia paperi-, sellu- ja biomateriaaliteollisuudelle läheisessä yhteistyössä alan teollisuuden kanssa. Osastolla on omat tutkimusryhmänsä puutuotteiden, paperitieteen ja -tekniikan sekä metsäbiomateriaalien tutkimukselle. Osastolla tehdään laajasti sekä alan perus- että soveltavaa tutkimusta. Vuosina 2007–2014 yli 40 yritystä osallistui osaston tutkimusprojekteihin, jotka keskittyivät pelkästään uusien biopohjaisten tuotteiden ja bioenergian

lähteiden kehittämiseen. Tämä kuvanee hyvin osaston arvostusta ja osaamista. (NC State University 2014)

Professori Martin A. Hubben erikoisalaa ovat paperinvalmistus ja tähän liittyvät kemialliset ilmiöt, erityisesti paperikoneen märkäosan kemia. Paperitekniikan tutkimukset, joita professori Hubbe on johtanut NCSU:ssa jo pitkään, keskittyvätkin partikkelien ja kolloidien roolien ymmärtämiseen paperin valmistusprosessissa. Yliopiston oman opetuksen lisäksi Hubbe on arvostettu ja kysytty luennoitsija ympäri maailmaa. Tutkimusryhmällä sekä koko osastolla on vahvat suhteet Suomeen. Tämä voi johtua siitä, että Martin A. Hubbe on aikoinaan työskennellyt Suomessa KCL:ssä (Oy Keskuslaboratorio). Yksiköllä on ollut muun muassa vahvaa opiskelija- ja tutkijavaihtoa Aalto-yliopiston biotuote ja -tekniikan laitoksen kanssa. Hubbe on toiminut myös vastaväittäjänä useissa Aalto-yliopiston väitöskäytöksissä. NCSU kustantaa myös arvostettua avointa nettijulkaisua BioResources, jossa Hubbe toimii päätoimittajana. Myös Kuitulaboratorio on julkaissut muutaman referee-artikkelin kyseisessä julkaisussa. Toimittajan tehtävien lisäksi professori Hubbe on ollut mukana kaiken kaikkiaan lähes 200 julkaisun tuottamisessa.

## **YHTEISTYÖN ALKU**

Yhteistyön siemen kylvettiin talvella 2009 Metson järjestämässä Wetend Chemistry -seminaarissa Kajaanissa, jossa Hubbe toimi luennoitsijana. Olimme etukäteen sopineet palaverin Hubben kanssa liittyen tutkimukseemme ja yhteistyöhön Wetend Technologiesin kanssa. Hubbe oli tietoinen Wetend Technologiesin tekniikasta ja oli erityisesti kiinnostunut tarkemmin tekniikan sisällöstä ja tähän liittyvästä kehitystyöstä. Palaverissa sovimme hänen vierailustaan Savonlinnaan, joka toteutuikin jo seuraavana kesänä. Vierailulla esittelimme toimintaamme Wetend Technologiesissa ja Kuitulaboratoriossa, ja lisäksi Hubbe esitteli omia ajatuksiaan perustyyppisestä tutkimuksesta kemikaalien syöttöön liittyen. Vierailimme myös Kerimäen puukirkossa, koska Hubbe oli kiinnostunut vanhoista rakennuksista ja erityisesti kirkoista (kuva 1). Lisäksi vierailimme Olavinlinnassa, jossa saatoimme leikkisästi todeta: ”This castle was built before America was found.”

## **TUTKIJAVIERAILU SEKÄ YHTEISET JULKAISUT**

Vuosina 2015–2017 toteutetussa Reaktek-projektissa Kuitulaboration ja NCSU:n yhteistyötä syvennettiin edelleen järjestämällä tutkijavaihto yliopistoon. Kuitulaboration tutkija Tiina Saario työskenteli professori Hubben tutkimusryhmässä noin kolme kuukautta. Vierailun aikana Tiina tutustui yliopiston tiloihin, verkostoitui yliopiston tutkimusryhmien ja tutkijoiden kanssa sekä suoritti laboratoriokokeita. Vierailun toteutusta ja yhteisiä tutkimuksia suunniteltiin professori Hubben kanssa videoneuvottelujen ja sähköpostin välityksellä.



***Kuva 1.** Vierailu Kerimäen puukirkkoon Martin A. Hubben (vasemmalla) kanssa (kuva Jukka Karjalainen).*



***Kuva 2.** North Carolina State Universityn Talley Student Union Building (kuva Tiina Saario).*



Tutkimuksissa keskityttiin kemikaalien syöttötapahtuman ja siinä vaikuttavien sekoitusvoimien ymmärtämiseen ja siihen, kuinka kemikaalien sekoittumista sekä flokkaantumista voitaisiin mitata eri menetelmillä. Osa tutkimuksista suoritettiin ennen tutkijavaihtoa koti-Suomessa, ja vaihdon aikana hyödynnettiin NCSU:n laitteita. Tutkijavaihdossa saatuja tuloksia on esitetty muun muassa tämän teoksen toisessa artikkelissa ”Paperikemikaalien flokkauksen tutkiminen – analyysilaitteistojen vertailu” (Kallio ym. 2017). Lisäksi tuloksista julkaistaan yhdestä kolmeen vertaisarvioitua lehtiartikkelia, jotka työstetään yhdessä professori Hubben kanssa. Vuosittainen suuri paperitekniikan alan konferenssi, TAPPI PaperCon, ajoittui myös vierailun ajankohtaan. Konferenssiin osallistui myös Kuitulaboratoriosta Emmi Kallio, joka esitteli aiempia kemikaalien syöttöön liittyviä tutkimustuloksia (Kallio ja Käyhkö 2016). Konferenssin aikana tarkensimme tutkijavaihdon suunnitelmia yhdessä Hubben kanssa sekä mietimme muita orastavia yhteistyökuvioita.



*Kuva 3. Vaihto-opiskelijoita ja tutkijoita yliopistolta yhteisessä illanvietossa (kuva Barbara White).*

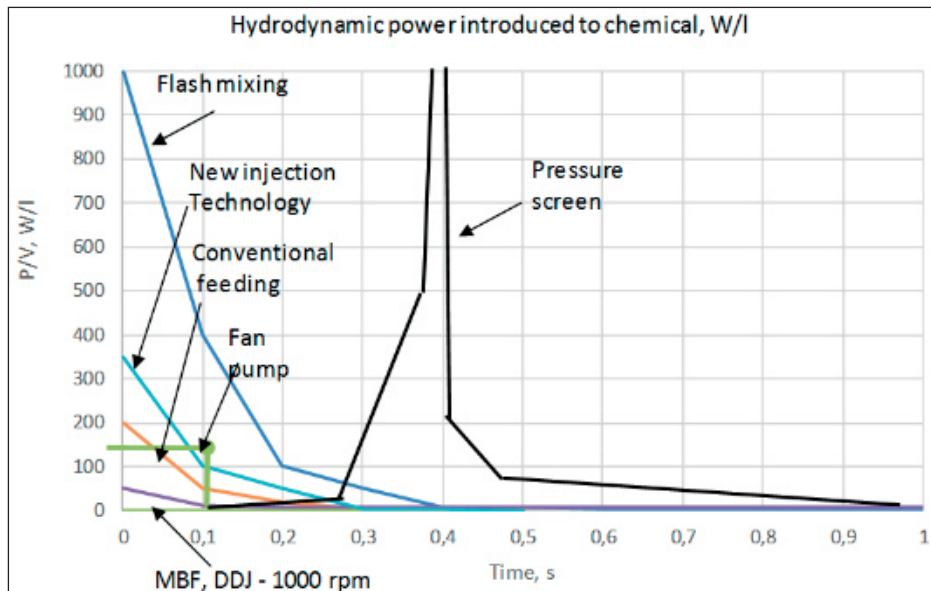
## **KUITULABORATORION KONTRIBUUTIO UUTEEN WET END CHEMISTRY -KIRJAAN**

Tutkijavierailun yhteydessä pidetyissä videoneuvotteluissa Hubbe esitteli ajatuksensa uudesta paperikoneen märkäosan kemialla käsittelevästä käsikirjasta, jonka koostamista ja julkaisua hän oli suunnitellut ja esittänyt TAPPI-organisaatiolle (Technical Association of Pulp and Paper Industry). Hubbe pyysi meitä toimittajiksi ja koostajiksi kahteen kirjan kappaleeseen, jotka toteutettaisiin yhteistyössä alan teollisuuden kanssa. Lopulta kirja muotoutui siten, että kirjoitimme yhteistyössä Wetend Technologiesin kanssa koosteen paperikemikaalien syöttöön liittyvästä kemiasta, nykikäytännöistä, uusimmista tekniikoista sekä tulevaisuuden kehityksestä ja näkymistä otsakkeella ”Systems for Feeding and Mixing Wet End Additives”, kirjoittajina Jari Käyhkö, Jouni Matula, Jussi Matula sekä Emmi Kallio (Käyhkö ym. 2018). Paperikoneen märkäosan sekoitusilmiöt yleisesti ja näihin liittyvät eri tekniset ratkaisut, mukaan lukien kemikaalien syöttötekniikat, eriytyivät omaksi kappaleekseen

(Swales, 2018), jonka sisältöön vaikutimme ainoastaan omaa kappaleettamme sivuavien osioiden osalta. TAPPI-organisaatio julkaisee ”Paper machine wet end chemistry” -käsikirjan vuoden 2018 aikana.

Paperikoneen märkäosan kemialla käsitteleviä kirjoja on julkaistu aiemmin useita, mutta näissä on käsitelty vähän, jos ollenkaan, kemikaalien syöttöön liittyviä ilmiöitä ja tekniikoita. Tässä uudessa käsikirjassa aiheelle on omistettu useampi kappale, mikä lisää kirjan kiinnostavuutta ja samalla vahvistaa tämän meille hyvin tärkeän tutkimusalueen merkitystä.

Tutkimuksiemme kannalta merkittävin kirjassa esiin tuotu uusi asia on laboratoriokoelaitteiden ja tehdasmittakaavan laitteiden hydrodynaamisten olosuhteiden vertailu. Vertailu osoittaa, että olosuhteet laboratoriolaitteissa ja tehdasmittakaavan laitteissa poikkeavat toisistaan huomattavasti (kuva 3). Lisäksi kappaleeseen on koostettu tuoreita tuloksiamme, joiden mukaan kyseisillä olosuhde-eroilla voi olla erittäin merkittävä vaikutus kemikaalien toimintaan ja paperin ominaisuuksiin, ja siten koelaitteita tulisi kehittää enemmän käytäntöä vastaavaksi (Kallio ja Käyhkö 2016, Kallio ym. 2014). Tämä kehitystyö ja tutkimukset jatkuvat Kuitulaboratoriossa meneillään olevassa PURE-hankkeessa (Tekes/EAKR). Näiden myötä tavoitteena on saada lisää aineistoa ja julkaista vertaisarvioituja artikkeleita sekä koostaa yksi väitöstyö kyseisestä aiheesta.



**Kuva 3.** Karkea arvio kemikaaleihin kohdistuvasta sekoitustehosta tehdasolosuhteissa ja laboratorioissa yleisesti käytetyissä MBF- ja DDJ-koelaitteissa (Kallio ja Käyhkö 2016).

## LÄHTEET

Kallio, E., Saario, T., Käyhkö, J., Paperikemikaalien flokkauksen tutkiminen – Analyysilaitteistojen vertailu, Teoksessa Metsä, ympäristö ja energia: Soveltavaa tutkimusta ja tuotekehitystä - vuosijulkaisu 2017, Soininen, H., Pulkkinen, L. (toim.), Kaakkois-Suomen Ammattikorkeakoulu, 2017.

Kallio, E. and Käyhkö, J., Feeding point and mixing power in simultaneous feeding of filler and starch, PaperCon, TAPPI Press, Atlanta, 2016.

Kallio, E., Paananen, P., and Käyhkö, J., Simultaneous feeding of the filler and retention agent – effect of the shear rate. Poster Presentation. TAPPI PaperCon2014 Nashville, Tennessee, 23–27.5.2014.

Käyhkö, J., Matula, J., Matula, J., Kallio, E., Systems for Feeding and Mixing Wet-End Additives, Teoksessa Paper machine wet end chemistry, Hubbe, M.A., Rosencrance, S. (toim.), TAPPI Press, julkaistaan 2018.

NC State University, College of Natural Resources. 2014. www-sivu, <https://cnr.ncsu.edu/fb/> [viitattu 26.10.2017].

Swales, D.K., Mixology – Theory and Practice as Applied to Papermaking, Teoksessa Paper machine wet end chemistry, Hubbe M.A., Rosencrance, S. (toim.), TAPPI Press, julkaistaan 2018.

# PAPERIKEMIKAALIEN FLOKKAUKSEN TUTKIMINEN - ANALYYSILAITTEISTOJEN VERTAILU

Emmi Kallio & Tiina Saario & Jari Käyhkö

Kaakkois-Suomen Ammattikorkeakoulun tutkimusyksikössä Kuitulaboratoriossa on tutkittu vuodesta 2005 lähtien paperikoneen märkäosan ilmiöitä, ja laboratoriollla on jo vahva kokemus ja osaaminen märkäosan kemiaan liittyen. Reaktoritekniikkaan perustuvat uudet prosessit, prosessikemikaalit ja biotuotteet (Reaktek) -hankkeessa jatkettiin edelleen märkäosan kemian ja etenkin sekoituksen vaikutusten tutkimuksia. Projektin yhdessä osa-alueessa etsittiin sopivia menetelmiä havainnoida paperikemikaalien aikaansaamaa flokkausta. Osa-alueen toteutukseen osallistui myös professori Martin A. Hubbe Pohjois-Carolinan yliopistosta, jossa myös projektin tutkija vieraili. Hanketta rahoittivat TEKES Euroopan aluekehitysrahastosta, Chemigate Oy, Kemira Oyj, Stora Enso Oyj, UPM-Kymmene Oyj ja Wetend Technologies Oy.

## JOHDANTO

Lähivuosina suuren mittakaavan prosessien sekoitustekniikat ovat kehittyneet voimakkaasti lähinnä kemiallisen puunjalostuksen alueella. Erityisen merkittävä innovaatio on Wetend Technologies Oy -lähtöinen reaktiotekniikka, jossa kemikaali sekoitetaan prosessiin hyödyntäen injektoinnissa prosessin omaa nestettä (Matula ym. 2006, Matula ym. 2016). Tekniikan avulla kemikaali sekoittuu nopeasti ja myös useampi kemikaali voidaan sekoittaa prosessiin samassa vaiheessa. Tekniikka mahdollistaa paperikoneella käytettävien kemikaalien annostelun hyvin lähellä rainausvaihetta, jolloin kemikaalien tehokkuutta saadaan parannettua. Ilmiöitä kemikaalien sekoittumisessa ja flokkaantumisessa ei vielä kuitenkaan tunneta riittävästi. Ilmiöt tapahtuvat hyvin nopeasti ja ovat hyvin vaikeasti mitattavissa. Tässä artikkelissa vertaillaan erilaisia analyysilaitteistoja, joilla kemikaalien flokkaantumista voidaan tutkia. Tavoitteena on, että mittauksia pystyttäisiin hyödyntämään reaktiotekniikan käyttöönnotossa.

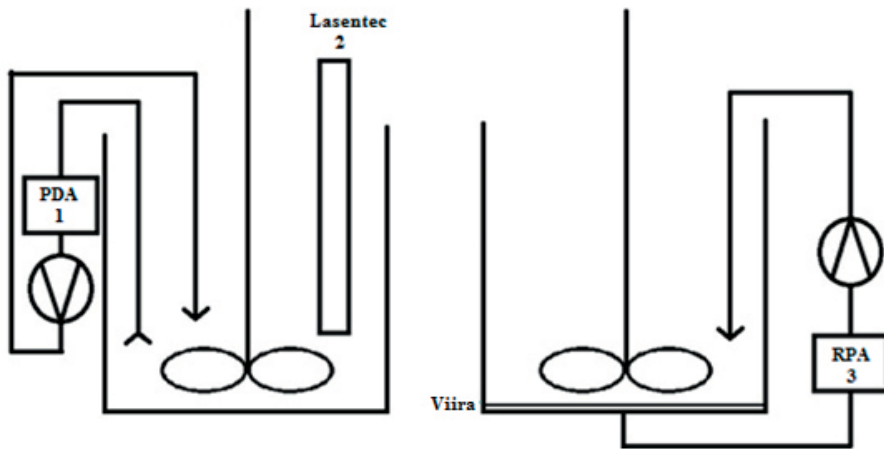
## MATERIAALIT JA MENETELMÄT

Laboratoriokokeissa käytettiin kemiallista jauhettua sellumassaa (koivu-mänty-seos), jonka joukkoon annosteltiin täyteainetta (jauhettu kalsiumkarbonaatti, GCC) sekä tärkkelystä.

Tärkkelyksen yhtenä tehtävänä on flokata täyteainetta ja hienoainetta ja siten parantaa näiden retentiota.

Kokeissa sellumassa lisättiin sekoitussäiliöön, jossa sekoitin pyöri halutulla kierrosnopeudella (kuva 1). Kemikaalit annosteltiin massan joukkoon joko yhtä aikaa tai erikseen vaihtaen niiden järjestyttä. Kaikissa koepisteissä massan ja kemikaalien määrät pidettiin vakiona.

Flokkaantumista mitattiin kolmella eri analyysilla: RPA (Retention Process Analyser) (Kallio ym. 2013), PDA (Photometric Dispersion Analyser) (Lenze ym. 2016) sekä FBRM (Focused Beam Reflectance Measurement), myöhemmin Lasentec (Blanco ym. 2005, Gerli ym. 2000). Riippuen käytetystä mittalaitteesta mittaus tapahtui koko massa-kemikaalisuspensiosta (PDA, FBRM) tai pelkästään suodoksesta (RPA) (kuva 1). RPA:lla ja Lasentecilla datan keräys tapahtui automaattisesti tietokoneen avulla, kun taas PDA:lla data kerättiin manuaalisesti.



*Kuva 1. Kokeissa käytetyt laitteistot sekä näytteenotto.*

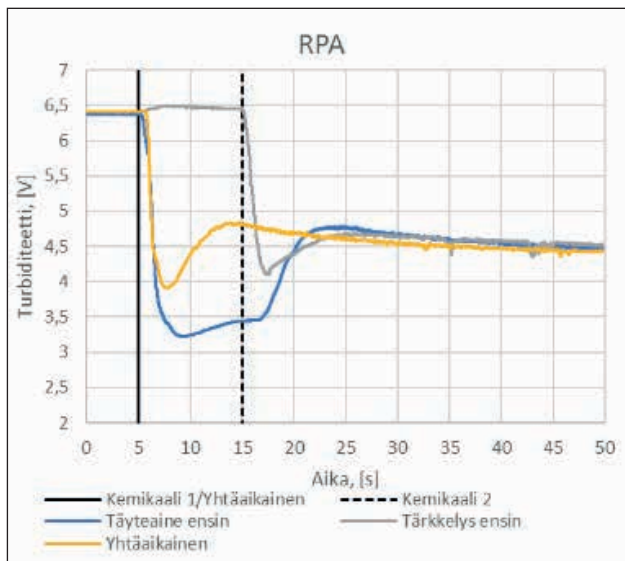
## TULOKSET

Tutkimuksen tarkoituksena oli vertailla eri mittauslaitteistojen antamaa informaatiota kemikaalien ja kuidun flokkaantumisesta. Kaikilla laitteilla voitiin nähdä kemikaalien annostelun aiheuttamat muutokset suspensioon. Kuvasta 2 nähdään, että RPA-mittauksessa annostelussa täyteainesuodoksen sameus lisääntyy eli turbiditeettiarvo laskee, koska pienikokoiset täyteainepartikkelit läpäisevät viiran. Vastaavasti Lasentec-mittauksessa keskimääräinen partikkelikoko ja PDA:lla rms-arvo laskevat, kun täyteaine lisätään kuidun joukkoon.

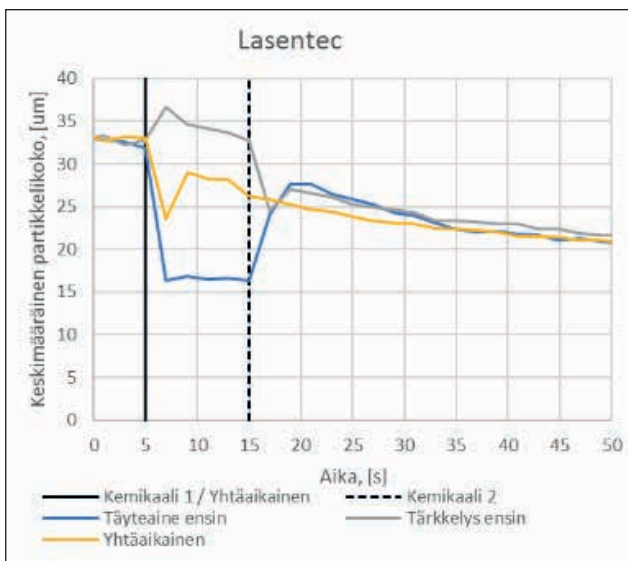
Kun tärkkelys annostellaan kuitu- tai kuitu-täyteainesuspensioon, mittausarvot nousevat kaikilla mittausmenetelmillä, koska tärkkelys flokkaa kuituainesta sekä täyteainetta (kuvat

2–4). RPA:ssa (kuva 2) turbiditeetti-arvo nousee eli suodoksen sameus vähenee tärkkelyksen aiheuttaman flokkaantumisen takia. Lasentec-mittauksessa (kuva 3) tärkkelyksen aikaansaama flokkaus nostaa partikkelien keskimääräistä kokoa. Mittauksen edetessä sekoitus hajottaa tärkkelyksen aikaansaamia flokkeja, jolloin mittausarvot jälleen laskevat.

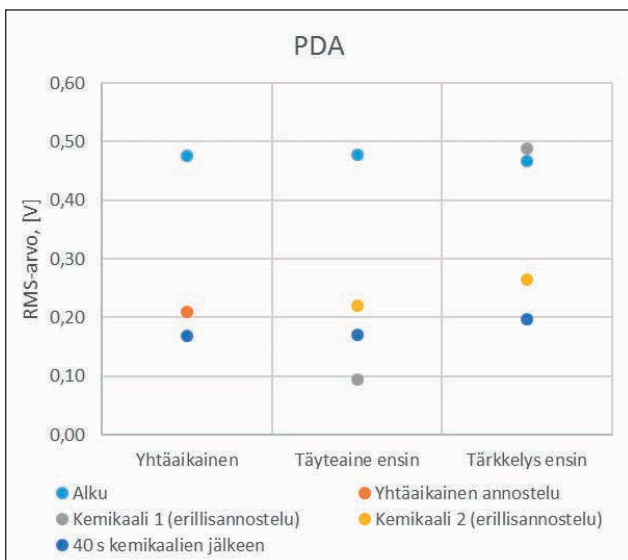
Kuvista 2–3 nähdään, että RPA- ja Lasentec-käyrien muodot vastaavat lähes toisiaan. Mittauksista nähdään selkeästi, kuinka sameus ja partikkelien keskimääräinen koko muuttuvat koepisteen edetessä. Eli esimerkiksi RPA-testausta tehtäessä voidaan olettaa keskiarvoisen partikkelikoon käyttäytyvän vastaavanlaisesti. Tarkkaa partikkelikoon arvoa tai edes suuruusluokkaa ei kuitenkaan voida päätellä RPA:n sameusarvosta. Mittausten välillä on kuitenkin hieman eroa mittausdatan määrässä (RPA-mittaus 0,01 sekunnin välein, Lasentec-mittaus kahden sekunnin välein), mikä näkyy käyrien muodossa/tarkkuudessa. PDA:n manuaalisen tiedonkeruun vuoksi informaatio ei ole yhtä tarkkaa kuin kahdessa muussa mittauksessa ja muutokset suspensiossa eivät näy niin selkeästi.



**Kuva 2.** RPA-mittauksen antamat tiedot kemikaalien aiheuttamasta flokkaantumisesta, jatkuva sekoitus 900 rpm.



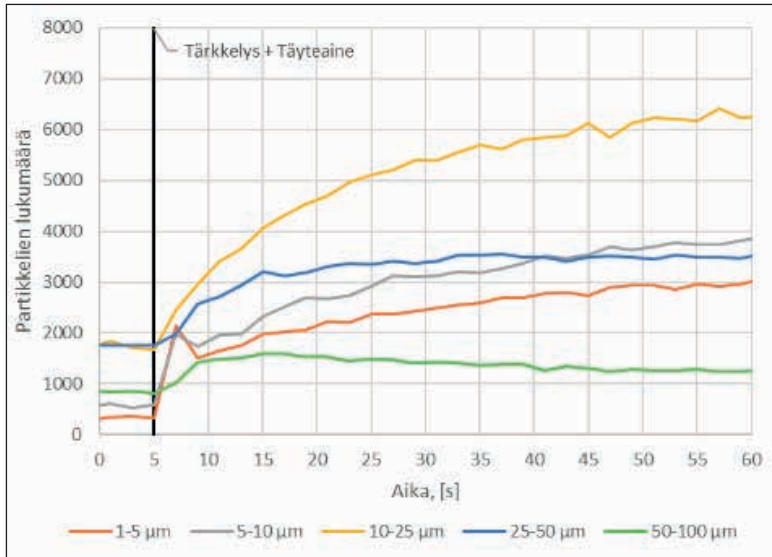
**Kuva 3.** Lasentec-mittauksen antamat tiedot kemikaalien aiheuttamasta flokkaantumisesta, jatkuva sekoitus 1000 rpm.



**Kuva 4.** PDA-mittauksen antamat tiedot kemikaalien aiheuttamasta flokkaantumisesta, jatkuva sekoitus 900 rpm.

Lasentec-datasta voidaan partikkelit jakaa vielä kokoluokkiin ja tarkastella partikkelien lukumäärää eri kokoluokissa. Tämä antaa valtavasti uutta tietoa flokkautusprosessista.

Esimerkiksi RPA-mittauksessa yhtäaikaيسانostelussa (kuva 2) noin kymmenen sekunnin jälkeen annostelussa ei havaita enää suuria muutoksia, mutta partikkelikokojakaumassa (kuva 5) tapahtuu kymmenen sekunnin jälkeen selkeitä muutoksia: isojen partikkelien määrä vähenee ja keskikokoisten kasvaa selvästi eli partikkelikokojakauma kapenee. Kyseistä ilmiötä ei ole aiemmin raportoitu paperikemikaalien käytön yhteydessä, ja tällä voi olla selkeä vaikutus valmistettavan paperin ominaisuuksiin.



**Kuva 5.** Muutokset partikkelien koossa mitattuna Lasentecilla, tärkkelyksen ja täyteaineen yhtäaikainen annostelu ajan hetkellä 5 sekuntia, jatkuva sekoitus 1000 rpm.

Kuvassa 6 on esitetty esimerkki tilanteesta, jossa RPA:n sameusarvo kemikaalien annostelun jälkeen on sama (4,5 V). Vaikka RPA:ssa tilanne koepisteiden välillä näyttää samalta, voidaan partikkelien kokojakaumassa havaita selkeä ero (kuva 6); suuremmalla sekoitusnopeudella (1000 rpm) sulpussa 10–100 µm:n kokoluokassa olevien partikkelien määrä on huomattavasti korkeampi verrattuna hitaampaan sekoitusnopeuteen.





**Kuva 6.** Partikkelien kokojakauma mitattuna Lasentecilla ajan hetkellä, jossa kemikaalien syötön jälkeen RPA-arvo saavuttaa ensimmäisen kerran arvon 4,5 V.

## JOHTOPÄÄTÖKSET

Kaikkia tutkimuksessa käytettyjä mittausten menetelmiä voidaan käyttää flokkaantumisen tutkimiseen, mutta mittausten antaman informaation ja niiden käyttökelpoisuuden välillä havaittiin eroja. Lasentec ja RPA antoivat kaikista tarkimman ja informatiivisimman tiedon. PDA:n tiedot voisivat olla yksityiskohtaisempia, jos laite varustettaisiin automaattisella tiedonkeruulla.

Mittausten menetelmät paljastivat eroja kemikaalien annostelujärjestysten ja sekoitusnopeuksien välillä. RPA- ja Lasentec-mittaus korreloivat toisiaan, mutta tarkkoja arvoja ei voida päätellä

pelkästään toisen mittauksen perusteella. Lasentec antaa selvästi lisäarvoa ja uutta tietoa retentio-/flokkaantumiskäytöksestä, kun data jaetaan partikkelikokoluokkiin. Hyvänä esimerkkinä on tilanne, jossa mittauksen edetessä RPA:n havaitsema retentio pysyy vakiona, mutta Lasentecilla voidaan nähdä merkittäviä muutoksia partikkelien koossa.

Reaktoritekniiikan tutkimusten kannalta on kuitenkin ensisijaisen tärkeää, että mittaukset ovat nopeita ja niitä tapahtuu tiheästi. RPA on tässä suhteessa käytetyistä laitteista paras, koska se havaitsee nopeat muutokset flokkaantumisessa. Tämä on erittäin tärkeää etenkin, kun käytetään korkeita sekoitusvoimakkuuksia. Lisäksi RPA-mittauksen tiedetään korreloivan hyvin dynaamisilla arkintekolaitteilla tai käytännössä saavutettavan täyteaineretention kanssa.

## LÄHTEET

Blanco, A., Negro, C., Fuente, E., Tijero, J. 2005. Effect of shearing forces and flocculant overdose on filler flocculation mechanism and floc properties, *Industrial and Engineering Chemistry Research* 44, 9105–9112.

Gerli, A., Keiser, B.A., Strand, M. 2000. The use of a flocculation sensor as a predictive tool for paper machine retention program performance, *Tappi Journal* 83, 1–16.

Kallio, E., Paananen, P., Käyhkö, J. 2013. The effect of anionicity and feed strategy on filler retention and agglomeration, *Nordic Pulp and Paper Research Journal* 28(3), 458–463.

Lenze, C.J, Peksa, C.A., Sun, W., Hoeger, I.C., Salas, C., Hubbe, M.A. 2016. Intact and broken cellulose nanocrystals as model nanoparticles to promote dewatering and fine-particle retention during papermaking, *Cellulose* 23, 3951–3962.

Matula, J., Ruuska, T., and Käyhkö, J., Immediate and efficient mixing of wet end additives close to the PM headbox, *Papermakers Conf.*, TAPPI Press, Atlanta, 2006.

Matula, J., and Matula, J., Eye Opening Operating Results of Flash Mixing Reactor for Efficient Use of Wet End Additives, *PaperCon*, TAPPI Press, Atlanta, 2016.

# KAIVOSTEOLLISUUDEN UUDET INNOVATIIVISET PUHDISTUSRATKAISUT

Noora Haatanen & Teijo Linnanen & Juhani Turunen & Janne Kankkunen

Kaivosteollisuuden jätevesien sekä sivuvirtojen käsittelyn ja hallinnan ympärillä riittää niin haasteita kuin parantamisen varaa. iFORMINE, Innovatiiviset kaivosvesien puhdistusratkaisut ja ekotehokkaat pilotoinnit -hankkeen tavoitteena on etsiä uusia sovelluskohteita metsäteollisuudessa hyviksi todetuille uusille innovatiivisille teknologioille sekä vaihtoehtoisia menetelmiä nykyisille ekotehokkuuden lisäämiseksi. Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulun lisäksi hanketta toteuttavat Geologian tutkimuskeskus, Lappeenrannan teknillinen yliopisto sekä Savonia ja Lapin ammattikorkeakoulut. Yritysedustajina mukana ovat Yara Suomi Oy, Agnico Eagle Finland Oy, Wetend Technologies Oy, Nanopar Oy, CarbonReUse Oy, Sofi Filtration Oy, Chemec Oy, Kemin Digipolis Oy ja Ecla Water Finland Oy. Hanke on saanut rahoitusta Etelä-Savon maakuntaliiton Euroopan aluekehitysrahaston Itä- ja Pohjois-Suomen temaattinen yhteistyö 2014–2020 –hausta, ja sitä toteutetaan 1.8.2015– 31.7.2018.

## JOHDANTO

Valitettavan monelle pohjoisen kaivosteollisuus ja erityisesti sen vesienhallinta tuo silmiin kuvan suurista hallitsemattomista vesialtaista piilevine ympäristövaaroinen. Metsäteollisuudessa, joka on Itä-Suomessa teollisuudenhaaroista vahvin, vesien hallinta on jo vuosikymmeniä ollut hallinnassa ja kehitys puhdistustehokkuudessa vahvasti nouseva, vaikka sellu- ja paperiteollisuuden vesienkäsittelyvolyymit ovat kokoluokkaa suuremmat kuin kaivosteollisuudessa. Juuri tähän kaivosteollisuuden vesienhallinnan kiinnostavaan erikoisuuteen iFORMINE-hanke pureutuu.

Hankkeen avulla on tarkoitus tutkia, kuinka metsäteollisuuden tehostuneet ja erityisesti nopeaan sekoitukseen perustuvat vesienkäsittelytekniikat soveltuvat kaivosvesiin ja pystytäänkö niiden avulla löytämään energia- ja resurssitehokkaampia sekä ympäristöystävällisempiä keinoja massiivisten saostusaltaiden tilalle ja syntyvien vesivirtojen käsittelyyn. Painoalojen maantieteellisen painottumisen kautta hanke soveltuu erityisen hyvin Etelä-Savon maakuntaliiton aluekehitysrahaston Pohjois- ja Itä-Suomi temaattinen yhteistyö -hankerahoitukseen.

Hankkeen punaisena lankana on ”puhdistus- ja kierrätyskonsepti”. Uudenlaisilla, innovatiivista ajattelua vaativilla puhdistustekniikoilla pyritään eristämään epäpuhtaudet muodossa, jossa ne voidaan edelleen hyödyntää muun muassa lannoitekäytössä tai energiantuotannossa.

## IFORMINE-HANKKEEN YHTEISTYÖN TULOKSIA

Hankkeen tutkimustuloksista seuloutuneiden ja pilotoitien kautta varmennettujen konseptien kautta pyritään synnyttämään uutta cleantech-teknologiaa ja palveluliiketoimintaa haastavien kaivosvesien käsittelyyn. Tutkimuskenttää on lähdetty rajaamaan alan aikaisempien projektien tulosten sekä yhteistyökaivosten ongelmanmäärittelyn kautta. Kohdennetuissa tutkimuksissa ja menetelmäkehittämisessä on saavutettu lupaavia tuloksia niin laboratorio- kuin pilot-mittakaavassa. Seuraavaksi on lyhyesti koontia hankkeessa jo tehdyistä toimenpiteistä.

Hankkeen osana tehtävässä tutkimuksessa on haettu harvinaisten maametallien (rare earth elements, REE) komponenttien eristämiseksi taloudellista ja ympäristöystävällistä vaihtoehtoa muun muassa polymeridusta nanoselluloosa-adsorptiomateriaalista. Lisäksi Lappeenrannan teknillisen yliopiston johtamassa tutkimuksessa on testattu harvinaisten maametallien eristämistä vesifaasista erilaisiin aktiivihiiliin ja hiilinanomateriaaleihin perustuvalla elektrodeionisaatiomenetelmällä.

Vesienkäsittelyn tehostamiseksi on tutkittu useita uusia menetelmiä. Savonian ammattikorkeakoulun johdolla on testattu uudenlaisen sähkösaostusmenetelmän soveltuvuutta niin laboratorio- kuin pilot-mittakaavassa teollisuusvesien käsittelyyn muun muassa sulfaatin, fluoridin, fosforin sekä typen yhdisteiden poistoon.

Flash-mixing eli injektiosekoitus on nopeaan sekoitukseen perustuva tekniikka, joka nopeuttaa aineensiirtoa ja täten myös reaktioita. Injektiosekoituksella on mahdollista nopeuttaa sakan tai kiteen muodostumista. Lisäksi se nopeuttaa pH-vastetta, jolloin kemikaaliannostelua voidaan vähentää. Projektin aikana Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu ja GTK ovat testanneet injektiosekoitusta muun muassa tehostamaan struviittikiteiden muodostumista typen poistossa sekä antimoniin saostamista kalkkimaidolla.

Lisäksi hankkeen aikana on etsitty ratkaisuja mineraalien rikastuksesta ja vedenpuhdistuksesta muodostuvien sakkojen hyödyntämiseksi muun muassa paikallisessa energiantuotannossa. Lapin ammattikorkeakoulun koordinoiman tutkimuksen osana on kehitetty myös polttokokeiden etämittausjärjestelmä savukaasujen analysointiin.

Seuraavassa tulosesittelyosiossa syvennytään tarkemmin erääseen Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulun iFORMINE-hankkeessa toteuttamaan tutkimukseen ja siitä saatuihin tuloksiin.

## NOPEALLA SEKOITUSTEKNIIKALLA TEHOSTETTU METALLIEN KALSIVHYDROKSIDISAOSTUS

Kyseisissä kokeissa tutkittiin Agnico Eagle Kittilän kultakaivoksen antimoni-, nikkeli- ja arsenipitoisen veden käsittelyä. Metallipitoisuuksien vuoksi se ei sovi sellaisenaan vesistöön

johdettavaksi tai hyötykäytettäväksi. Mikäli arseeni- ja antimonipitoisuutta saataisiin laskettua, sopisi kyseinen vesijae alhaisen kloori- ja kiintoainetasen vuoksi muun muassa porausvedeksi. Tutkimusten tavoitteena on löytää maanalaiseen kaivokseen soveltuva kompakti käsittelymenetelmä, jolla kyseinen ”S300”-vesi voitaisiin jatkossa puhdistaa jo maan alla ja näin ollen kontaminoimatta suurempia vesivirtoja ja kierrättää vesi ympäristöön tai hyötykäyttöön.

## MATERIAALIT JA MENETELMÄT

Kittilän kaivoksen 300 metrin tasolta saadun pumppausveden haitallisia metalleja (pääasiassa antimonia) pyritään saostamaan nopean kalsiumkarbonaattimuodostumisreaktion yhteydessä. Menetelmä on entuudestaan tuttu paperiteollisuudesta, josta löytyy referenssejä metallien saostamisesta kalsiumkarbonaattikiteiden avulla.

Kalsiumkarbonaattikiteiden muodostumisen reaktio:



Puhdistusreaktio perustuu kalsiumin ja hiilidioksidin muodostaman kalsiumkarbonaatin kemialliseen saostumiseen haitallisten metallien kanssa.

Kokeet suoritettiin Kuitulaboratorion injektiosekoitusta simuloivalla laboratoriomittakaavan sekoitusreaktorilla (jatkossa karbonaattori). Kokeet aloitettiin kaksivaiheisella testillä. Ensimmäinen vaihe oli kalsiumhydroksidisäostus, jota seurasi pH:n säätö karbonointi- eli hiilidioksidikäsitteyllä. Vaiheittaisen annostelun jälkeen siirryttiin testaamaan menetelmän toimivuutta yksivaiheisessa testissä, jossa edellä mainitut reaktiot tapahtuvat samanaikaisesti. Tämän lisäksi tutkittiin olosuhteiden, kuten sekoitusnopeuden, pH:n ja kalsiumhydroksidin annostelumäärän, vaikutusta reaktioon.



**Kuva 1.** Karbonaattori eli sekoitusreaktori (kuvat Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu).

Karbonaattorilla sekoitusnopeus oli 4 000 rpm ja sekoitusaika kaksi sekuntia. Optimaalinen pH-alue kalsiumkarbonaatin kiteytymisen mukaan on 7–8. Kalsiumhydroksidin pitoisuus eri koepisteissä oli 0,1 % eli 3 g CaO/l ja 0,3 % eli 9 g CaO/l.

## TULOKSET

Arseenin (As) ja nikkelin (Ni) osalta saavutettiin parhaimmillaan lähes sadan prosentin reduktio. Antimonin (Sb) osalta reduktio on 70–80 prosenttia. Kalsiumhydroksidin annostelumäärän nostamisella saatiin parannettua antimonin reduktiota. Tulokset on koottu taulukkoon 1.

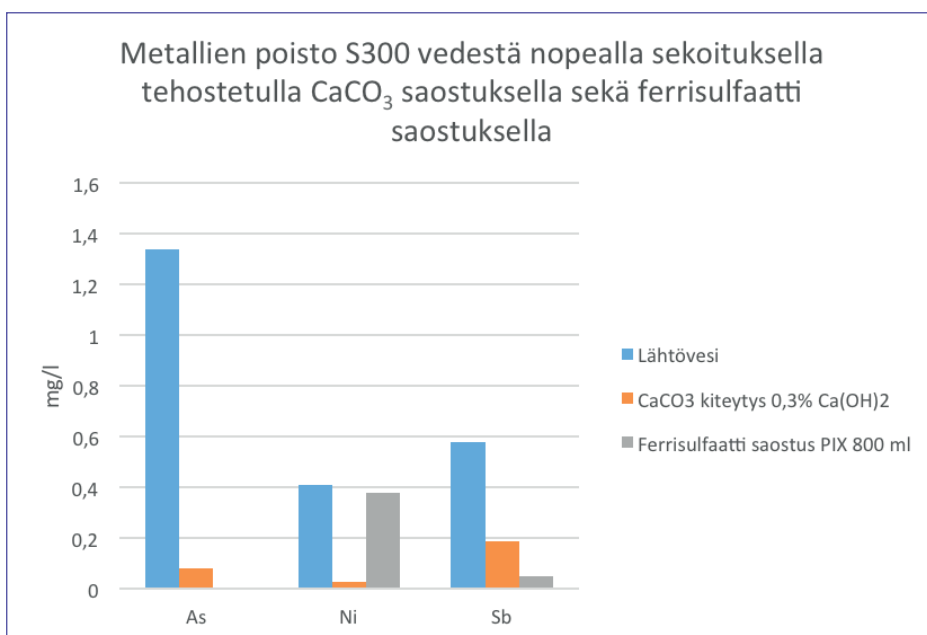
*Taulukko 1. Karbonointikoeajon tulokset.*

	Arseeni mg/l	Nikkeli mg/l	Antimoni mg/l
S300 lähtövesi	1,34	0,41	0,58
1. Ajo	0,006	0,002	0,2
2. Ajo Ca(OH) <sub>2</sub> 0,1 %	0,59	0,2	0,43
3. Ajo Ca(OH) <sub>2</sub> 0,3 %	0,003	0,002	0,13
4. Ajo Ca(OH) <sub>2</sub> 0,3 %	0,07	0,03	0,16
5. Ajo Ca(OH) <sub>2</sub> 0,3 %	0,05	0,01	0,18
6. Ajo Ca(OH) <sub>2</sub> 0,3 %	0,2	0,07	0,28

Kalsiumkarbonaattikiteytyksen lisäksi suoritettiin vertailukoepiste perinteisellä ferrisulfaattisaostuksella. Nopealla sekoituksella ferrisulfaattikäsittelyssä tarvittava kemikaalimäärä on noin 30 prosenttia pienempi perinteiseen sekoitukseen verrattuna. Arseenin ja antimonin osalta reduktiot ovat kalsiumkarbonaattikiteytyksen kanssa samalla tasolla. Sen sijaan nikkelin reduktio on alle kymmenen prosenttia (taulukko 2).

*Taulukko 2. Ferrisulfaattikoeajon tulokset.*

	Arseeni mg/l	Nikkeli mg/l	Antimoni mg/l
S300 lähtövesi	1,34	0,41	0,58
7. Ajo: PIX660ml	0,002	0,38	0,11
8. Ajo: PIX1000ml	0,04	0,38	0,06
9. Ajo: PIX800ml	0,002	0,38	0,06
10. Ajo: PIX800ml	0,002	0,38	0,05



**Kuva 2.** Metallien poiston tulokset Kittilän S300-veden käsittelystä nopealla sekoituksella tehostetulla kalsiumkarbonaattisaostuksella sekä ferrisulfaattisaostuksella.

Reaktiossa pH:n säätö on erityisen kriittinen. Jos hiilidioksidia annostellaan liikaa, laskee pH liian alas, jolloin syntynyt kalsiumkarbonaattisakka alkaa liueta ja samalla metallit liukenevat takaisin veteen.

Kokeissa todettiin pH:n säädön olevan helpompaa kalsiumhydroksidilla (eli sammutetulla kalkilla) kuin kalsiumoksidilla. Myös kalkkikiven ominaisuuksien, kuten kalkkikiviesiintymän, polton ja sammutuksen laadulla, todettiin olevan merkitystä. Reaktiivisella kalsiumhydroksidilla sekä pH että johtokykyvaste ovat nopeammat ja vakaammat, mikä on nopeisiin reaktioihin ja pieniin yksikköprosesseihin perustuvassa reaktiossa tärkeää. Karbonoinnin jälkeen pH pyrkii nousemaan, mikä kertoo käytetyn kalsiumoksidin/hydroksidin liukenemisestä.

## JOHTOPÄÄTÖKSET JA JATKOTOIMENPITEET

Kokeet ovat alustavasti osoittaneet, että menetelmä soveltuu syvällä kaivoskuilussa tehtävään puhdistukseen. Sakan ja suodoksen erottelutekniikkaan on mahdollista hyödyntää jo olemassa olevaa tietoa. Menetelmä mahdollistaisi kyseisten kaivoksen kuivanapitovesien käsittelyn kohteessa ja puhtaiden vesien hyödyntämisen esimerkiksi poravetenä suoraan kaivoskuilussa, mikä osaltaan yksinkertaistaisi vesien pumppaamista alueella. Kyseisellä laboratoriomittakaavan sekoituslaitteistolla hiilidioksidin tarkka annostelu pienissä määrin

on haastavaa ja vaatii vielä menetelmäkehitystä. Isommassa pilot- ja tuotantomittakaavassa pienien kalsiumhydroksidi- ja hiilidioksidimäärien annostelu on tarkempaa. Eräänä jatko-toimenpide-ehdotuksena onkin toistaa kyseinen koetilanne pilot-mittakaavassa.

Prosessissa käytettävä hiilidioksidi on mahdollista ottaa talteen kaivoksen lämpölaitoksen savukaasuista ympäristöystävällisellä veteen perustuvalla prosessilla. Tällä tekniikalla pystytään hiilidioksidia erottamaan muun muassa savukaasuista keskisuudessa mittakaavassa yksinkertaisesti ja kustannustehokkaasti.

Myös syntyvän kalsiumkarbonaatti-haittametallisakan käsittelyllä on iso merkitys kokonaisuuden kannalta. Kalsiumkarbonaattikiteiden pintaan kiinnittyneet myrkylliset metallit alkavat liueta takaisin ympäristöön pH:n muuttuessa epäedulliseksi. Jatkotutkimuksissa tulisi muun muassa pohtia, voidaanko haittametallit eristää kiteisiin sidottuna takaisin maankuoren sisään.



# FOTONIIKKASENSORI- JA KORKEAN TEKNOLOGIAN KUVANTAMISEN DEMONSTROINTI METSÄBIOJALOSTAMON HALLINTAAN (FOKUDEMO-HANKE)

Elina Havia & Jari Käyhkö & Yrjö Hiltunen & Riku Kopra & Mika Liukkonen

Fotoniikkasensori- ja korkean teknologian kuvantamisen demonstrointi metsäbiojalostamon hallintaan (Fokudemo) -hankkeen tavoitteena oli biojalostamoprosessien parempi ymmärtäminen fotoniikka- ja kuvantavien menetelmien avulla.

Hankkeessa tuotettiin uusiin sensoritekniikoihin ja menetelmiin perustuvia työkaluja ja osaamista metsäbiojalostamon keskeisten prosessien (ligniinin sekä suovan erotus) sekä metsäbiomassaa jalostavien bioprosessien optimointiin ja prosessien suorituskyvyn parantamiseen. Kuplakokojakauman määrittämiseen kehitettiin jatkuvatoiminen online-mittaus, jota sovellettiin sellun valmistuksen happivaiheen toiminnan tutkimiseen kahdella eri tehtaalla. Suopanäytteiden fluoresenssiominaisuuksia tutkittiin sekä kehitettiin menetelmä, jota voidaan soveltaa mahdollisesti prosessin suopapitoisuuden online-mittaukseen. Valon taittumiseen perustuvaa aiemmin lähinnä laboratoriossa käytettyä Abbe-menetelmää kehitettiin ja tutkittiin prosessimittaukseksi. Kolmella eri valonlähteellä aineelle taitekerroin mitattuna saadaan muodostettua kullekin aineelle ominainen dispersiökäyrä. Teollisuuteen soveltuva low cost -magneettikuvaslaite valmistettiin nopeiden sekoitus- ja aineensiirtoilmiöiden mittaamiseksi. Lisäksi selvitettiin reaaliaikaista magneettikuvauksen hyödyntämistä teollisuuden mittauksiin. Tehokkaita, moderneja ohjelmisto- ja mallinnusratkaisuja kehitettiin mittausdatan tarkempaan ja monipuolisempaan hyödyntämiseen.

## JOHDANTO

FOKUDEMO-hanke (Havia et al. 2017) kehitti uusia fotoniikkaan sekä kuvantamisteknologioihin perustuvia mittaustekniikoita, niiden sovelluksia sekä erilaisia informaation käsittelyjärjestelmiä. Kehitettyjä menetelmiä voidaan soveltaa metsäbiojalostamo-sellutehtaiden tuotannon tehostamiseen sekä näiden tuotantolinjojen keskeisten sivuvirtaprosessien (ligniinin ja suovan erotus) saannon ja laadun parempaan hallintaan.

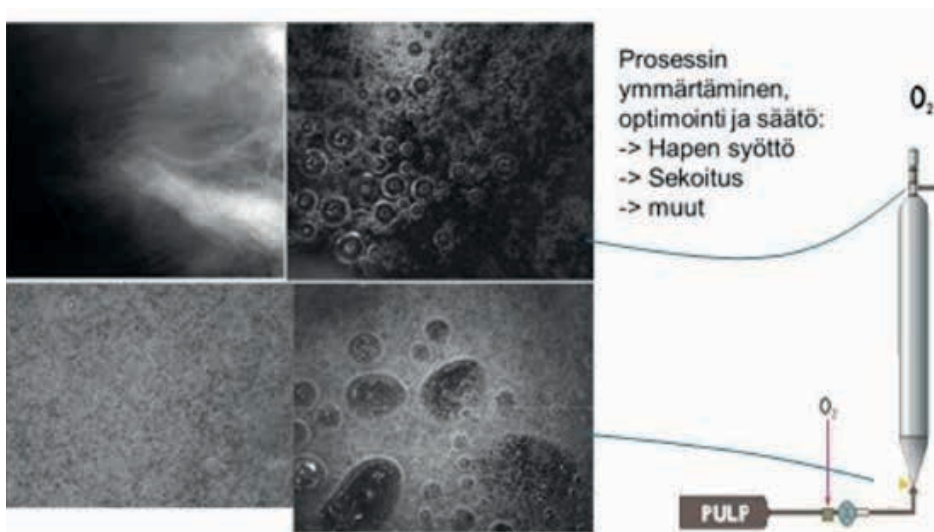
## TOTEUTUS JA KESKEINEN SISÄLTÖ

Toteutetut demonstroidit perustuivat fluoresenssiin, ydinmagneettiseen spektroskopiaan, optisiin sensoreihin sekä kuvantaviin menetelmiin. Lisäksi tutkittiin prosessiautomaatiojärjestelmien tuottaman mittaustiedon analysointia kehittyneillä laskentamenetelmillä sekä testimallinnusten perusteella toteutetuilla soft sensor -ratkaisuilla.

## HAPEN SEKOITTUMISEN JA DISPERGOITUMISEN MITTAUS KEMIALLISEN MASSAN VALMISTUSPROSESSISSA

Hapen sekoittumista ja dispergoitumista kemiallisen massan valmistusprosessissa tutkittiin Kuitulaboratorion toimesta toteutetulla mittausjärjestelmällä kahdella eri kuitulinjalla jatkuvatoimisena mittauksena (kuva 1). Pixact Oy:n rooli mittauksen toteutuksessa oli merkittävä, ja lisäksi K-Patents Oy:n asennusyhteen ansiosta mittalaite voitiin asentaa ilman seisakkia. Mittaustulosten korrelaatio prosessisuureisiin oli selkeästi havaittavissa. Eri linjoilla tehdyissä mittauksissa kuplakoossa havaittiin kymmenkertainen ero: havulinjalla kuplat olivat pienempiä kuin koivulinjalla. Lisäksi prosesseissa esiintyi merkittävää vaihtelua reaktoriin syötettävän dispersion kuplakoossa sekä reaktorista poistuvan kaasun määrässä ja kuplakoossa. Sekoituksella on mahdollista vaikuttaa kuplakokoon. Vaahdonestokemikaalin vaikutusta tutkittiin tehdas- ja laboratoriomittakaavassa, ja molemmissa vaikutus havaittiin merkittäväksi. Mittauksia heikentävää mittapään likaantumista ei todettu merkittävässä määrin.

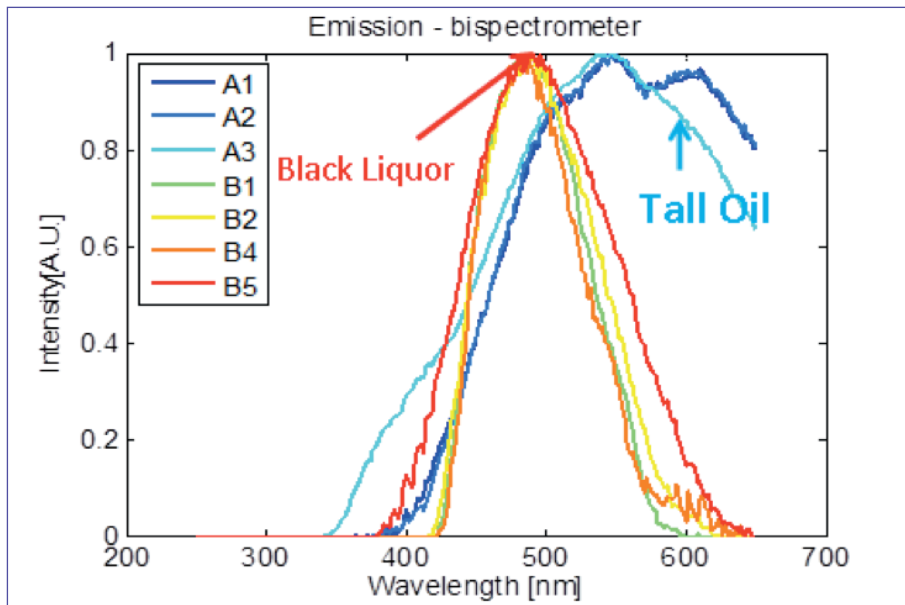
Vastaavaa dispersiomittausta ei ole aiemmin maailmassa toteutettu edes hetkellisenä saati sitten jatkuvana online-mittauksena. Menetelmästä on mahdollista kehittää säätötekniinen sovellus. Lisäksi mittaus antaa erinomaisen mahdollisuuden ymmärtää happidispersion rooli ja vaikutukset erilaisissa happidelignifointiprosesseissa (Mutikainen et al. 2017, Kadlec et al. 2009; 795–814, Heiningen et al. 2003; 96–101). Jos prosessia voidaan ajaa koko ajan optimaalisella happiannoksella ja dispersiolla, voidaan prosessin muita säätömuuttujia optimoida pitkällä aikajänteellä paremmin, ja prosessia voidaan ajaa taloudellisemmin, stabiilimmin ja suuremmalla delignifointiasteella tai tuotannolla. Ottaen huomioon happidelignifoinnilla käsiteltävän kuitumateriaalin määrän maailmassa (noin 100 miljoonaa tonnia/vuosi) saavutettava energia-, materiaali- ja ympäristötehokkuus sekä tuotannolliset ja taloudelliset vaikutukset voivat olla erittäin merkittävät. Dispersioon liittyvää ymmärrystä voidaan hyödyntää myös happidelignifoinnissa käytettävien prosessilaitteiden, lähinnä sekoittimien ja reaktoreiden, kehityksessä ja mitoituksissa.



*Kuva 1. Kuplakokomittausten asennuspaikat ja esimerkkikuvia (kuva Jari Käyhkö).*

## **PUUN UUTEAINEIDEN TUNNISTAMINEN SUOVAN EROTUSPROSESSISSA FLUORESENSSIMENETELMÄLLÄ**

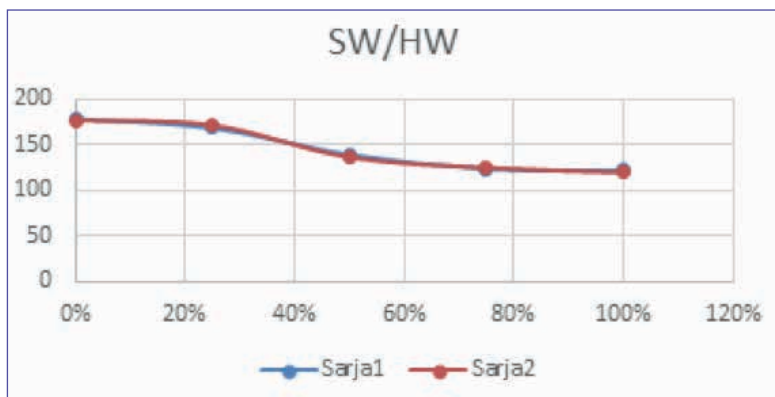
Fluoresenssimenetelmän tutkimusosuus toteutettiin yhteistyössä Itä-Suomen yliopiston foniikan tutkimusryhmän ja Kuitulaboratorion sekä Elektroniikan 3K-tehtaan kanssa. Fluoresenssiin perustuvasta mittausmenetelmästä kehitettiin konseptitason laitteisto, jolla tutkittiin menetelmän sovellettavuutta mustalipeä- ja suopamittauksiin eri fluoresenssiaallonpituuksilla (kuva 2). Mittauksia tehtiin laboratoriossa mustalipeän tehdasnäytteistä sekä tehtaalla, jossa tuoreet näytteet otettiin suoraan linjasta. Fluoresoivina aineina ovat oletuksen mukaan puun eri uuteaineet, mikä siis mahdollistaisi näytteen tai prosessin suopapitoisuuden määrittämisen. Mittausmenetelmä kehitettiin sille asteelle, että menetelmää on valmius testata online-mittauksena, ja tavoitteena on jatkaa tutkimuksia tulevaisuudessa yhteistyössä metsäteollisuusyritysten kanssa.



*Kuva 2. Suopanäytteistä mitattu emissiospektri.*

## AINEIDEN DISPERSIÖKÄYRÄN MITTAUS

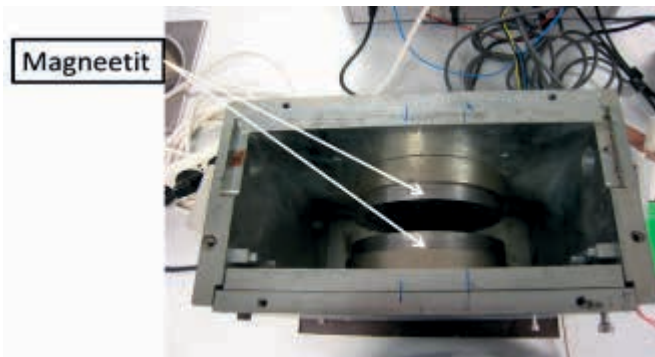
Kolmen eri aallonpituuden mittaamiseen perustuvalla kolmoissädemittarilla tutkittiin aineiden dispersiökäyrän mittaamista (kuva 3). Toteutettujen laboratoriokokeiden tulosten perusteella menetelmä sopii aineiden dispersiökäyrän reaaliaikaiseen mittaukseen. Ilmiö näyttäisi olevan sitä voimakkaampi, mitä suurempi on mitattavan liuoksen pitoisuus. On huomattavaa, että selluteollisuuden näytteillä ilmiön vaikutus on kertaluokkaa suurempi kuin muilla orgaanisilla testatuilla näytteillä. Näin isoista muutoksista saadaan luotettavia parametreja seossuhteiden määrittäisiin esimerkiksi pesusuodoksissa ja mustalipeissä.



*Kuva 3. Havu/koivusuodosteosten "Abbe"-käyrä.*

## LOW COST MRI -KUVAUSLAITE TEOLLISUUDEN SEKOITUS- JA MUIDEN PROSESSIEN KUVAAKSEEN

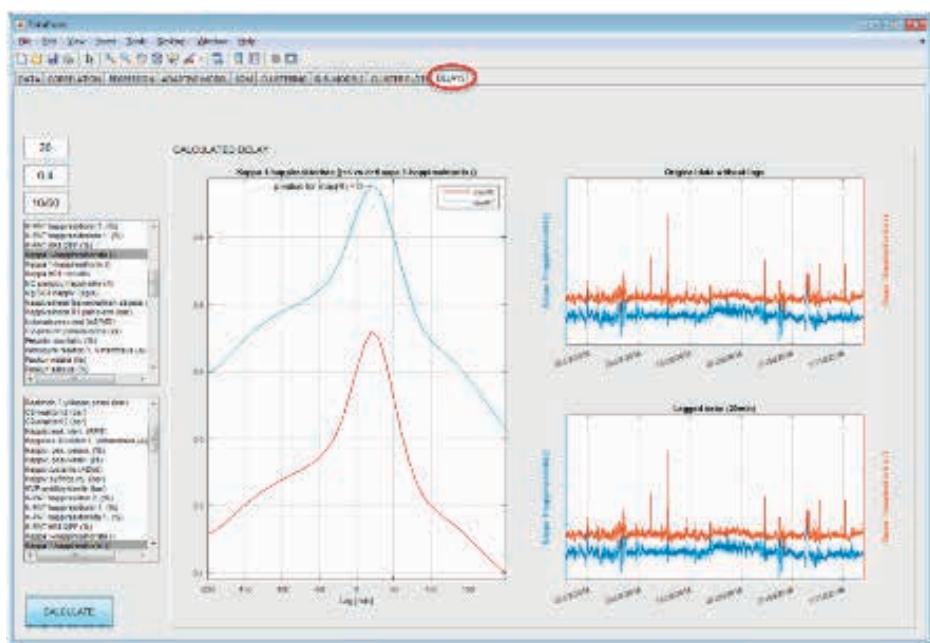
Ydinmagneettisen spektroskopian (MRI) -työpaketissa suunniteltiin ja toteutettiin niin sanottu low cost MRI -kuvauslaite (kuva 4). Kehitettyä laitetta voidaan käyttää kuvauksen demonstroimiseen pienimuotoisissa teollisuuden prosesseissa; menetelmää voidaan esimerkiksi soveltaa muun muassa nopeiden sekoitusilmiöiden mittaamiseen mikrotasolla biotuotevalmistuksessa. Lisäksi selvitettiin reaaliaikaisen magneettikuvauksen hyödyntämistä muissa teollisuuden mittauksissa. Laite suunniteltiin ja toteutettiin kansainvälisenä yhteistyönä Volga State University of Technologyn kanssa.



*Kuva 4. MRI-laitteiston magneetti, joka on toteutettu kestomagneetilla (kuva Yrjö Hiltunen).*

## ÄLYKKÄÄT MALLINNUSMENETELMÄT

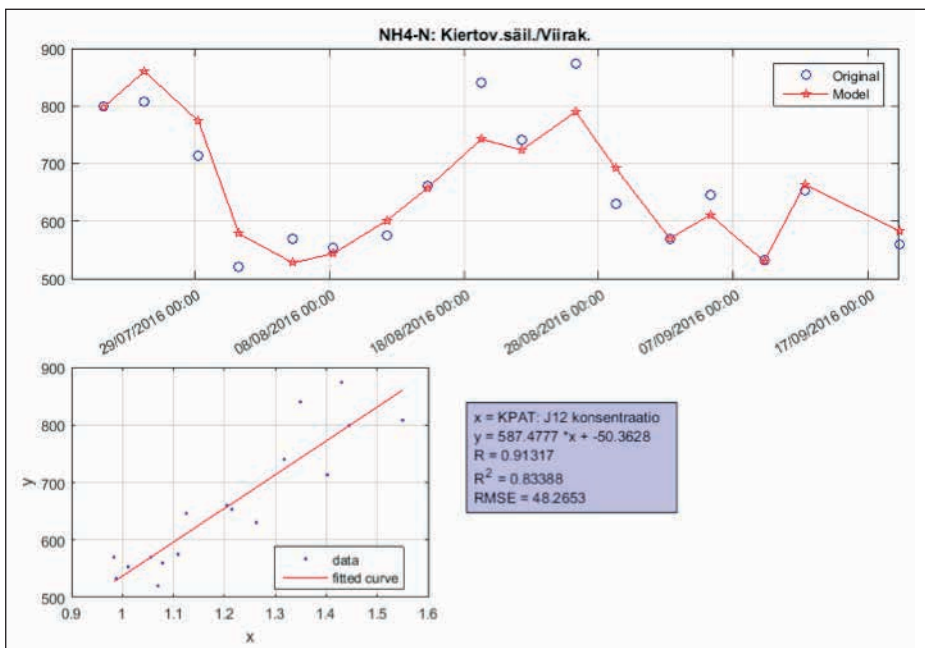
Älykkään prosessidatan analysoinnin osalta hankkeessa toteutettiin useita kehittyneitä analysointiratkaisuja, joita demonstroitiin etenkin pakkauskartongin laadun analysointiin liittyvässä ongelmakentässä. Demonstraatioiden avulla myös osoitettiin, että älykkäät mallinnusmenetelmät voivat toimia pohjana kehittyneille ohjelmistotyökaluille (kuva 5). Lisäksi kehitettiin kartongin laatua ennakoiva virtuaalisensoriratkaisu, joka perustuu dynaamiseen mallirakenteeseen ja jota testattiin todellisella tehdasaineistolla erittäin lupaavin tuloksin. Myös sellunvalmistuksen laboratoriomittauksia mallinnettiin refraktometrimittauksen avulla kohtuullisella menestyksellä. Yhteenvetona voidaan todeta, että mittaustiedon laskennallisella käsittelyllä ja mallinnuksella saadaan tarkempi kuva prosessien ilmiöistä ja niiden mahdollisista syy-yhteyksistä. Mittausaineiston tehokkaampi hyödyntäminen mahdollistaa myös käytönaikaisen ongelmanratkaisun ja laaduntarkkailun.



*Kuva 5. Esimerkki prosessiviiveiden matemaattisesta määrittämisestä (sellunvalmistuksen happireaktorivaihe) laskemalla kahden suureen välistä korrelaatiota ajan funktiona.*

## LIUENNEEN KUIVA-AINEPITOISUUDEN MÄÄRITYS JA PROSESSIREFRAKTOMETRIMITTAUSTEN KORRELAATIO KEITTOKEMIKAALEIHIN BIOJALOSTAMOPROSESSISSA

Prosessirefraktometrimittauksilla (kuva 6) selvitettiin erityisesti biojalostamoprosessin liuennon kuiva-ainepitoisuuden vaihtelua sekä refraktometrimittauksen ja tehtaan tietojärjestelmädatan välistä yhteyttä. Refraktometritulokset korreloivat kemiallisen hapen kulutusta kuvaavan COD-arvon kanssa. Lisäksi oli havaittavissa kohtalainen korrelaatio keittokemikaaleihin. Mittaukset osoittivat melko suuria, jopa kahden prosenttiyksikön, vaihteluja kuiva-ainepitoisuudessa kahden eri linjan välillä.



*Kuva 6. Refraktometrin korrelaatio keittokemikaaleihin.*

## YHTEENVETO

Fotoniikkasensori- ja korkean teknologian kuvantamisen demonstrointi metsäbiojalostamon hallintaan (Fokudemo) -hankkeessa toteutettiin demonstroinnit:

- Hapen sekoittumisen ja dispersioitumisen tutkiminen kuvantavalla dispersiomittarilla kemiallisen massan valmistusprosessissa kahdella eri kuitulinjalla
- Puun uuteaineiden tunnistaminen suovan erotusprosessissa fotoniikka-/fluoresenssimittausteknologialla
- Aineiden dispersiokäyrän mittaaminen kolmea eri mittausaallonpituutta hyödyntävällä kolmoissädemittarilla
- Prosessirefraktometrimittaukset biojalostamoprosessin liuenneen kuiva-ainepitoisuuden vaihtelun selvittämiseksi sekä refraktometritulosten ja tehtaan tietojärjestelmätietojen välisen yhteyden selvittämiseksi
- Sellunvalmistuksen laboriomittauksen (kiertovesi) mallinnus refraktometrimittauksen avulla
- Kartongin laadun mallinnus kehittyneillä laskentamenetelmillä ja testimallinnusten perusteella toteutetut soft sensor -ratkaisut
- Low cost MRI -kuvauslaite teollisuuden sekoitus- ja muiden prosessien kuvaukseen.

Teknologioilla saatu informaatio on hyödyllistä uusien prosessikonseptien kehittämisessä sekä tuotannon laadun ja saannon parantamisessa.

Hanke oli aidosti poikkitieteellinen sen yhdistäessä puunjalostuksen ja prosessiteknikan, sensori- ja mittaustekniikan sekä tietotekniikan osaamisen suomalaiselle biotaloudelle keskeisellä sovellusalalla.

Hanke toteutettiin Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulun ja Itä-Suomen yliopiston foniikan ja materiaalitekniikan tutkimusyksikön SIB Labsin välisenä yhteistyönä ajalla 12/2015–5/2017. Hankkeen muut kumppanit olivat Metsä Fibre Oy, Andritz Oy, Savon Sellu Oy, Pixact Oy, Wetend Technologies Oy ja Janesko Oy. Hanketta rahoittivat osallistujajärytykset, toteuttajaosapuolet sekä Tekes.

## LÄHTEET

Havia, E., Käyhkö, J., (toim), Foniikkasensori- ja korkean teknologian kuvantamisen demonstrointi metsäbiojalostamon hallintaan (FOKUEDEMO), loppuraportti. [julkaistaan vuonna 2017].

Heiningen A., Krothapalli, D., Genco, J., Justason, A., A chemical reactor analysis of industrial oxygen delignification. *Pulp & Paper Canada* 104:12(2003), pp. 96–101.

Kopra Riku, Effect of brown stock washing on sub-processes and fiber line economy, ABTCP Pulp and Paper 2016 -konferenssi, lokakuu 2016, Sao Paolo, Brasilia.

Kadlec, P., Gabrys, B., Strandt, S., 2009. Data-driven Soft Sensors in the process industry. *Computers and Chemical Engineering*, vol. 33, pp. 795–814.

Mutikainen, Heikki; Kopra, Riku; Pesonen, Anna; Hakala, Maria; Honkanen Markus; Peltonen, Kari; Käyhkö, Jari. Measurement, state and effect of the gas dispersion on the oxygen delignification. IPBC 2017 International Pulp Bleaching Conference. August 28–30 2017. Porto Seguro, Bahia –Brazil.



# FLUORESENSSIMENETELMÄN KEHITYS MÄNNYN SYDÄNPUUN UUTEAINEIDEN MITTAUKSEEN

Henri Montonen & Elmar Bernhardt & Elina Havia & Hannu Leinonen & Anni Harju

Puun luontaisten lahonsuoja-aineiden sekä erityisesti stilbeeniyhdisteiden tutkimiseksi Elektroniikan 3K-tehdas kehitti yhteistyössä Luken kanssa mittalaitteen, jossa on ultraviolettiledejä hyödyntävä spektrometri. Stilbeenit fluoresoivat UV-säteilyssä. Mittajärjestelmä perustuu siihen, että näytettä säteilytetään UV-ledillä ja mitataan näytteestä emittoituvaa, eri aallonpituudella olevaa valoa.

Kehitettyä mittalaitetta ja mittaussuomenetelmää voidaan tulevaisuudessa mahdollisesti hyödyntää siemenviljelysalan toimijoiden keskuudessa sekä toisaalta puunkorjuussa ja mekaanisissa metsäteollisuudessa.

## JOHDANTO

Elektroniikan 3K-tehdas kehitti fluoresenssimittausmenetelmää ja -laitteiston puun fluoresoivien ainesosien mittaukseen. Näiden fluoresoivien puun ainesosien on todettu toimivan puun luontaisena lahonsuojana. Mittausmenetelmä ja laitekehitys toteutettiin läheisessä yhteistyössä Luonnonvarakeskuksen kanssa.

Fluoresenssimittausmenetelmä on nopeampi kuin vaihtoehtoinen kemiallinen määritysmenetelmä. Kemiallinen määritysmenetelmä edellyttää näytteen jauhamista ja uuttamista sekä haihtuvien johdannaisien tekemistä, minkä jälkeen pitoisuus voidaan mitata esimerkiksi kaasukromatografi-massaspektrometrillä (GC-MS).

Fluoresenssiin perustuvassa mittausmenetelmässä kasvukairalla puusta otettu näyte halkaistaan, minkä jälkeen fluoresenssi voidaan mitata automatisoidusti.

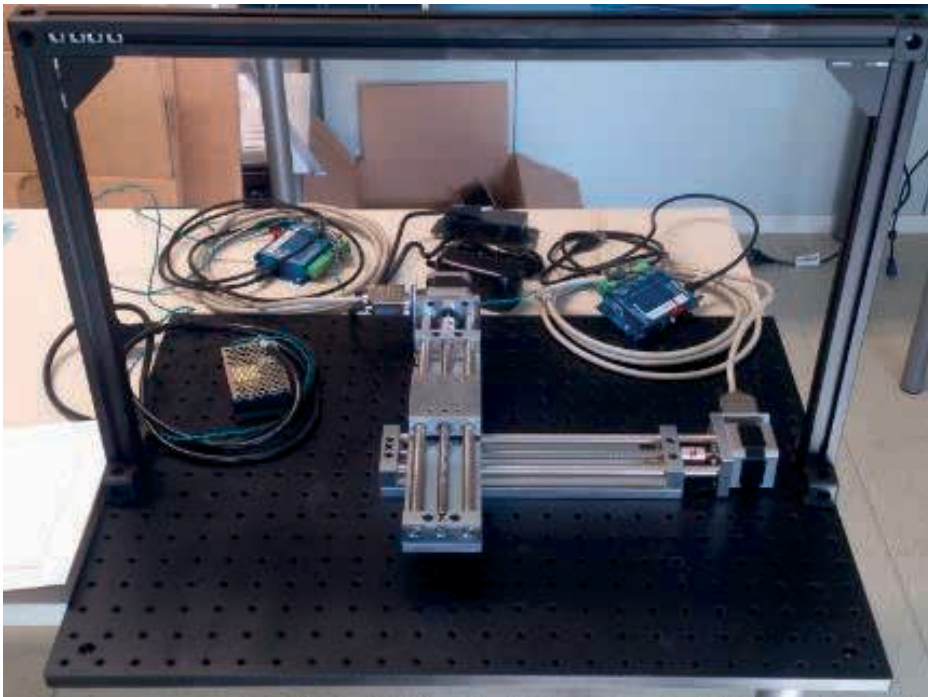
## FLUORESENSSIMENETELMÄN KEHITYS

Elektroniikan 3K-tehdas suunnitteli laitteiston, näytealustat ja mittalaiterungon mekaanikan yhdessä Luonnonvarakeskuksen kanssa sekä toteutti laitteiston sähkösuunnittelun. Laitteiston rakentaminen toteutettiin Elektroniikan 3K-tehtaalla.

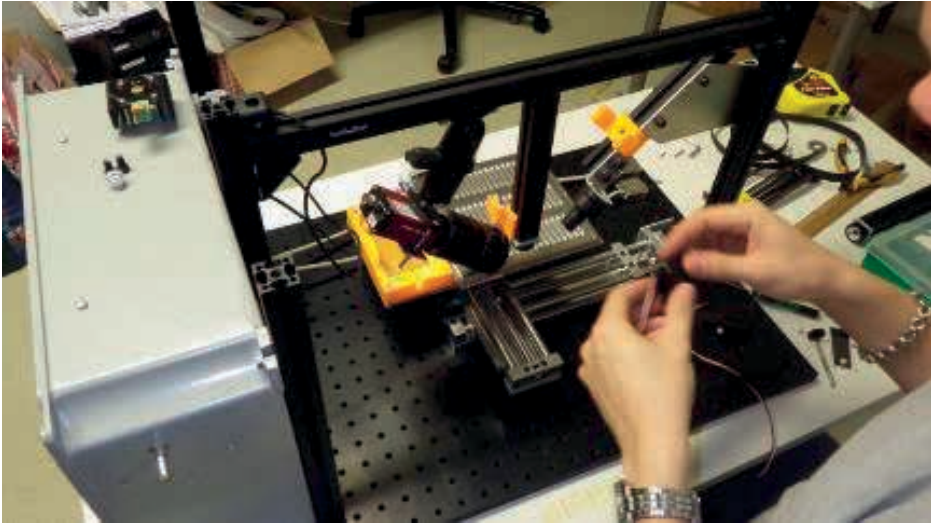
Mittalaitteen suunnittelussa lähdettiin liikkeelle näytealustan suunnittelusta sekä sitä siirtävästä XY-pöydästä. Näytealustan koko määritteli hyvin pitkälle laitteen ulkomitat. Mittauskammion sisälle suunniteltiin ja rakennettiin kiinnitykset UV-LED-valolle, optiselle mittaukselle sekä kameralle. Optiikka valokuituineen, kamerajärjestelmä, servomootorit sekä tarvittavat kytkimet ja merkkivalot asennettiin.

UV-LED-valolähteeseen asennettiin valaistusalueen rajoitin sekä suljin. Valolähteen korkeus rakennettiin säädettäväksi, mikä helpottaa valon fokusointia. Lopuksi asennettiin mittauskammion mustat, valoa läpäisemättömät muoviseinät sekä avattava pimennysluukku. Laitetta koekäytettiin. Koekäyttöjakson perusteella laitteeseen tehtiin seuraavat muutokset ja parannukset:

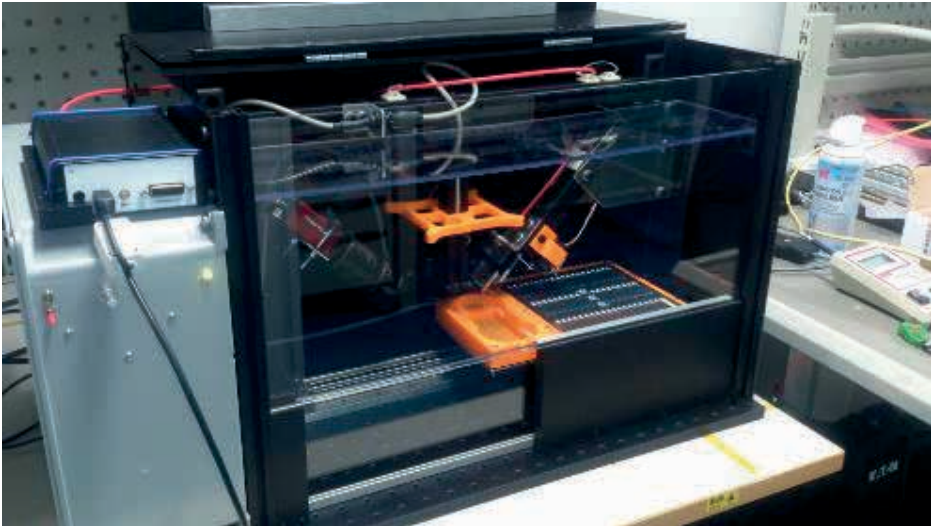
- UV-valon kohdistusta näytteeseen kehitettiin vaihtamalla LED:n edessä aluksi ollut heijastin valoa fokusoiviin linssihin. Samalla tehtiin tarvittavat muutokset laitteen mekaniikkaan, jotta linssijärjestelmä saatiin sijoitettua paikoilleen.
- Sulkimen yhteyteen asennettiin kaksi erilaista valoa suodattavaa kalvoa, joita voidaan servomoottorilla kääntää linssijärjestelmän eteen.
- Lisäksi laitteistoa kehitettiin valonilmaisimen osalta vaihtamalla detektorilinsin eteen servolla käännettävän suodatinkalvon tilalle paksumpi muovilevy, jonka suodatuseräominaisuudet ovat paremmat.



*Kuva 1. Mittalaitteen runko ja XY-pöytä (kuva Henri Montonen).*



***Kuva 2.** Servomootoreiden asennus. Kiinnitykset UV-valolle, optiselle mittaukselle ja kameralle ovat valmiit. Vasemmalla sähkökaappi, joka sisältää tarvittavat virtalähteet, ohjauselektroniiikan sekä johdotukset (kuva Elektroniiikan 3K-tehdas).*



***Kuva 3.** Kehitetty mittalaite puun fluoresoivien uuteaineiden mittaukseen (kuva Henri Montonen).*

## PUUNÄYTTEEN HALKAISULAITTEEN KEHITYS

Puusta kairatut näytteet halkaistaan ennen fluoresenssimittausta. Tavoitteena on halkaista puunäyte pitkittäin kahteen mahdollisimman yhtä suureen kappaleeseen. Mikäli kairattu puunäyte ei halkea tarkalleen keskeltä, vaihtelee aikaan saatujen puunäytteiden korkeus. Näytteiden korkeusvaihtelu vaikuttaa UVv-mittauksessa detektorille pääsevän säteilyn määrään ja siten mittaustulokseen.

Käytännössä puunäytettä halkaistaessa halkeaa näyte herkästi sivuun halutusta keskikohdasta. Halkeamiseen vaikuttaa puunäytteen sisäinen rakenne siten, että puu lähtee halkeamaan yhdestä kohtaa helpommin kuin toisesta. Tähän tarpeeseen kehitettiin puulastunäytteen halkaisulaite. Halkaisulaitteeseen valittiin soveltuvat terät, ja laitteesta kehitettiin useampi prototyyppi (kuva 4). Lopullisessa versiossa päädyttiin kiinnittämään halkaisuterä pöytämallin halkaisulaitteeseen. Kehitetty halkaisulaite toimi melko hyvin, joskin näytteen halkaisu tarkalleen kahteen yhtä suureen osaan voisi edelleen olla tarkempi.



*Soveltuvien terien valinta.*

*Puristintyyppinen mattoveitsestä kehitetty halkaisulaiteen prototyyppi.*

*Halkaisuterä käsikahvalla.*

*Vipuvartinen pöytämallinen halkaisulaite.*

**Kuva 4.** Halkaisulaiteen kehitys (kuvat Henri Montonen).

## YHTEENVETO

Elektroniikan 3K-tehdas toteutti yhteistyössä Luonnonvarakeskuksen kanssa ympäristöä säteilyltä suojaavan, automaattisella ohjauksella liikkuvaan näytealustaan integroitavan spektrometrilaitteiston, suunnitteli ja toteutti mittauskammion sekä kehitti tähän liittyvää mittausmenetelmää. Kehitettyä laitteistoa sovellettiin männyn sydänpuun uuteaineiden mittaukseen.

Laitekehityksen vaativiin haasteisiin kuului se, että tietoa sekä toisaalta soveltuvien laiteosien toimittajia oli hankala löytää. Yhteistyö Elektroniikan 3K-tehtaan sekä Luken välillä toimi hyvin ja haasteet saatiin ratkaistua.

Kehitettyä mittalaitetta ja mittausmenetelmää voidaan tulevaisuudessa mahdollisesti hyödyntää siemenviljelysalan toimijoiden keskuudessa sekä toisaalta puunkorjuussa ja mekaanisessa metsäteollisuudessa.

# SAVONLINNA SMART DEMONSTRATIONS

Elina Havia & Elmar Bernhardt & Henri Montonen & Hannu Leinonen & Yrjö Hiltunen

Savonlinna Smart Demonstrations -hankkeessa suunniteltiin, testattiin ja pilotoitiin uusia teknologiaratkaisuja prosessi-, ympäristö- ja energiatekniikan alan yritysten kehitystarpeiden lähtökohdista. Hankkeessa kehitettiin prosessitekniikan, ydinmagneettiseen resonanssiin perustuvan NMR-tekniikan, magneettisten muistimetallien ja sensoritekniikan ratkaisuja, joita voidaan tulevaisuudessa hyödyntää uusissa teknologiasovelluksissa.

## JOHDANTO

Hankkeessa edistettiin käytännön tuoteaihioina olevia ja projektin aloitusvaiheessa pääosin teoreettisissa muodossa olevia ideoita eteenpäin. Hanke kasvatti osaamista ja tuotti suunnitelmia ja kehitysversioita kokonaan uusista teknologiaratkaisuista. Näitä suunnitelmia arvioitiin yhteistyössä hankkeessa mukana olevien TKI-organisaatioiden ja yritysverkoston kanssa. Tältä pohjalta valikoituneita demonstraatioita kehitettiin muita pidemmälle, ja lupaavimmille ratkaisuille tuotettiin tehdastason testivalmiudet.

## YDINMAGNEETTISEEN RESONANSSI-ILMIÖÖN (NMR) PERUSTUVAN MITTAUSMENETELMÄN KEHITTÄMINEN

Laboratorio-olosuhteissa tutkittiin erilaisia teollisuusnäytteitä sekä näyteputkissa että online-laitteella (mm. MCC-näytteitä). Tulosten pohjalta kehitettiin online-laitteistoa käytettävämmäksi, ja samalla kehitettiin mittausohjelmistoja.

Suoritetuista koemittauksista saadut tulokset ovat lupaavia. Tulokset esiteltiin hankkeeseen osallistuville yrityksille, ja jatkomittauksia arvioitiin yhteistyössä heidän kanssaan. Nämä lisämittaukset toteutettiin, ja niiden perusteella on pystytty täsmentämään menetelmän toimivuutta. Lisäksi on tehty paljon online-mittauksia Kuitulaboratorion jauhimella. Mittaukset ovat osoittaneet, että laitteisto toimii hyvin koeympäristössä varsinkin, kun hankittiin kuitususpensiolle sopiva pumppu.

Useita testimittauksia/mittauskampanjoita toteutettiin eri teollisuuslaitoksille. Lisäksi on tutkittu online-menetelmän soveltuvuutta myös muihin sovelluskohteisiin. Mittauskokeita tehtiin muun muassa vesilaitokselle ja sellutehtaalle. Kaivosvedelle tehtiin sulfaattimittauksia

ja metallipitoisuuden karbonaattimittauksia, lietemittauksia veden olomuotopitoisuuden määrittämiseksi ja makkaramittauksia makkaran/MCC-suhteen määrittämiseksi.

Kehitetty mittausten menetelmä on osoittautunut toimivaksi. Menetelmän etuihin kuuluu likaantumattomuus, koska mitattava aine kulkee putkessa. Lisäksi menetelmän hintaluokka on kilpailukykyinen, ja siten laite soveltuu kustannuksiltaan helposti hyödynnettäväksi teollisuudessa. Laitteeseen on kehitetty etähallinta siten, että periaatteessa laitetta voi ohjata matkapuhelimen välityksellä. Mittaustulokset ovat saatavissa sähköpostiin.

Seuraavaksi tarvitaan pitkäaikaistestejä (useita kuukausia). Testit teollisuusympäristössä ovat välttämättömiä, koska hanketulostenkin perusteella on todettavissa, että teollisuudessa esiintyy huomattavasti laboratorio-olosuhteita enemmän erilaisia häiriöitä. Esimerkiksi erilaisia radiotaajuushäiriöitä on paljon. Mitattavat signaalit ovat heikkoja, ja siksi ympäristön häiriöt saattavat häiritä mittausta.



**Kuva 1.** Hankkeessa kehitetty teollisuusympäristöön soveltuva NMR-mittausjärjestelmä (kuvat Yrjö Hiltunen).

## **PROSESSI- JA BIOJALOSTUSTEOLLISUUSSOVELLUKSET - SUODINELEMENTTIEN TUKKEUMAN KUVAAMINEN KAMERAJÄRJESTELMÄLLÄ**

Tehtyjen taustaselvitysten ja demonstraatiokohteeksi valikoituneiden suodinelementtien tukkeutumista kuvaavan kamerajärjestelmän kehitystyö aloitettiin kamerajärjestelmän suunnittelulla ja järjestelmän laboratorioversion kehittämällä. Järjestelmän vaatiman, vaikeisiin olosuhteisiin soveltuvan metallisen kamerakotelon suunnitteli ja toteutti Ket-Met Oy in kind -panostuksena hankkeelle.

Järjestelmälle toteutettiin testit 3K-tehtaan laboratorioissa ja sen jälkeen demonstraatiotestit Kuitulaboratoriossa. Testien tulokset olivat lupaavia, ja näiden pohjalta toteutettiin tehdastason koetesteihin soveltuvan kamerajärjestelmän kehitystyö suunniteltujen tehdastestien vaatimusten lähtökohdista.



**Kuva 2.** Teollisuuden vaativiin kuvausolosuhteisiin kehitetty kamerajärjestelmä (kuvat Elmar Bernhardt).

Järjestelmään kehitettiin myös etäohjaussovellus, joka mahdollistaa kamerajärjestelmän valvonnan ja ohjaamisen langattoman yhteyden kautta (kuva 3). Kamerajärjestelmä sisältää vesijähdytyksen ja kuvausikkunan puhdistuksen vedellä/pesuliuksella sekä ilmaverhon.

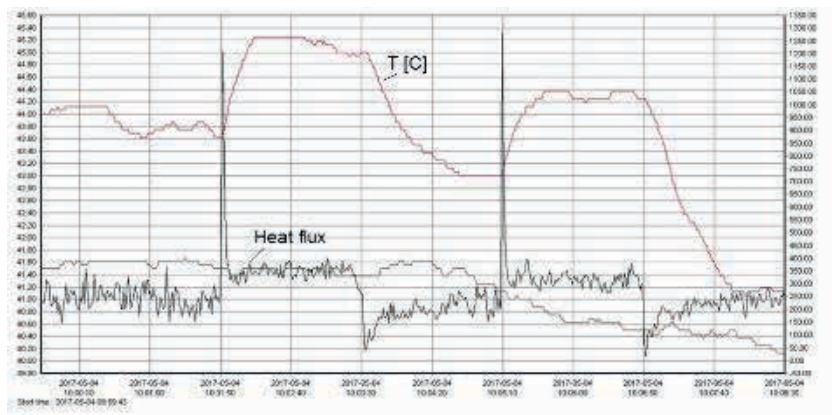


**Kuva 3.** Vaativiin kuvausolosuhteisiin soveltuvaan kamerajärjestelmään kehitettiin käyttöliittymä ja etäohjausohjelmisto.

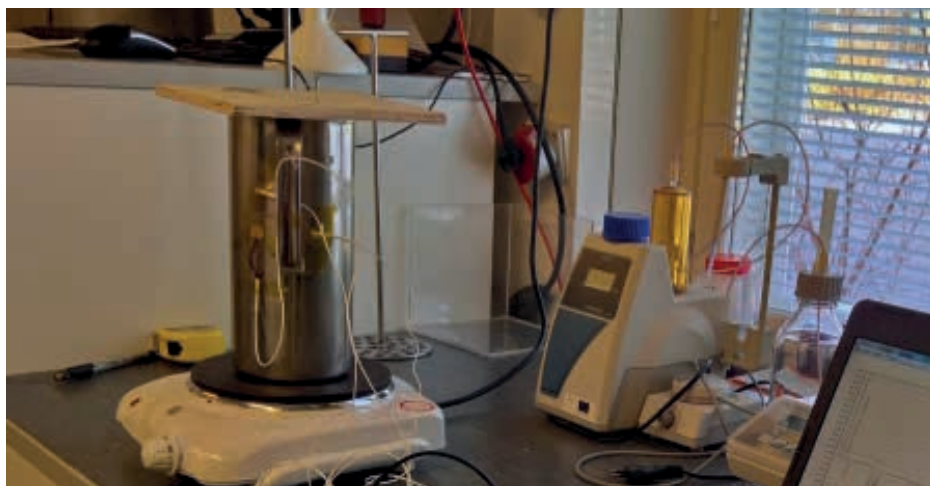
## ENERGIATEKNIIKAN SOVELLUKSET - MATALIEN (MAX 90 °C) PROSESSILÄMPÖILOJEN SOVELLUSKOHTEET

Faasirajapintojen mittausten menetelmää tutkittiin ja kehitettiin perustuen lämpövuon mittaamiseen. Käytännön sovelluksia haettiin erityisesti prosessiteollisuuden kentästä. Erityisenä painopistealueena oli matalien (max 90 °C) prosessilämpötilojen sovelluskohteet.

Testimittauksen perusteella todettiin, että hankkeen alussa sovellettavaksi suunniteltu anturi ei toimi riittävän hyvin. Vaihtoehtoiset, mittauksiin soveltuvat kaupalliset anturit kartoitettiin ja tehtiin tarvittavat taustaselvitykset. Selvityksen perusteella valittiin parhaiten soveltuva anturityyppi. Valitut anturit testattiin laboratorio-olosuhteissa (kuva 4). Hankkeen loppuvaiheessa sovelletut anturit todettiin laboratoriotesteissä toimiviksi.



*Kuva 4. Mitattu lämpövuon laboratoriotesteissä.*



*Kuva 5. Lämpövuon mittaus Kuitulaboratoriossa (kuva Hannu Leinonen).*



Kuvan 5 mittausjärjestelmällä ja uusilla lämpövoantureilla pyrittiin mittaamaan faasirajapintaa ja sen muuttumista laboratorio-olosuhteissa. Testeissä tällä mittausjärjestelyllä ei kyetty saamaan sellaisia mittaustuloksia, joissa faasirajapinta olisi luotettavasti mitattavissa.

## ANTURITEKNIikka

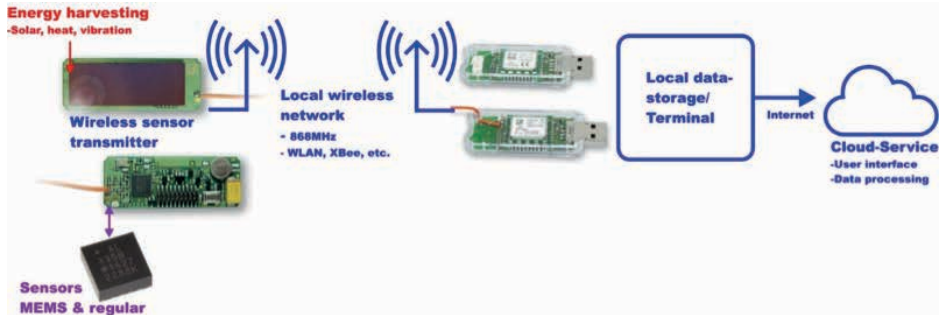
Antureiden osalta hankkeessa keskityttiin EnOcean-tuoteperheen antureihin. Järjestelmään saatavissa olevat anturit ovat sekä perinteisiä antureita että mikromekaanisia MEMS-antureita (Micro Electro Mechanical System). EnOcean on standardoitu, langaton teknologia antureille ja kytkimille. Tarvitsemansa energian EnOcean-anturit keräävät ympäristöstään. Anturit saavat käyttövoimansa fyysisestä liikkeestä/tärinästä, valosta tai lämpöerosta. EnOcean-tekniikkaa hyödynnetään sekä kiinteistö- että teollisuusautomaatiassa.

Hankkeen puitteissa testatuille EnOcean-antureille suoritettiin anturien käyttöönotto ja toimivuuden testaus. Signaalin kantama havaittiin hyväksi (rakennuksen sisällä kerroksesta toiseen). Tilanteisiin, joissa langatonta verkkoa ei ole saatavilla, on kehitetty pienikokoisia langattomia datatallentimia. Hankkeessa testattiin lämpövoimittausten yhteydessä kämmenelle mahtuvaa MSR-dataloggeria, joka kykenee tallentamaan laitteen sisäiseen muistiin kaksi miljoonaa mittalukemaa.

Langattomissa sensoriverkoissa tulee kiinnittää huomiota langattoman verkon luotettavuuteen ja toimintavarmuuteen. Signaalin kantomatka, mahdolliset katvealueet, häiriösignaalien mahdollisuus sekä sensoriverkon tietoturva ja salaus tulee huomioida. Omavoimaisten, oman käyttöenergian keräävien antureiden osalta elektroniikan energiansaanti tulee varmistaa. Anturi voi ottaa tarvitsemansa energian myös anturin virtaviestistä aiheuttamatta siihen muutosta. Parhaiten erilaisiin langattomiin sensoriverkkoihin soveltuvat vähäenergiset anturityypit, joissa tehonkulutus on tehokkaasti hallittu ja optimoitu. Turvallisuus- ja prosessikriittiset sovellukset vaativat huolellisen järjestelmäsuunnittelun.

MEMS-anturit ovat yleensä melko energiasäästäviä ja nopeita vaihtoehtoja perinteisiin antureihin verrattuna; kaikkia anturityyppejä ei kuitenkaan voi toteuttaa MEMS-teknologialla.

Langaton anturiverkkotekniikka kehittyy parhaillaan voimakkaasti IoT-mullistuksen yhteydessä (kuva 6). Suomeen ollaan rakentamassa tällä hetkellä kahta maanlaajuista anturi- ja mittadatan välittämiseen tarkoitettua verkkoa (low power wide area network). Verkkoja rakentavat Digita Oy sekä Sigfox/Connected Finland Oy. Tällainen matalan taajuuden verkko on tarkoitettu pienten datamäärien siirtoon. Verkon etuihin kuuluvat edullinen hinta, alhainen tehonkulutus sekä hyvä signaalin kantama ja kuuluvuus.



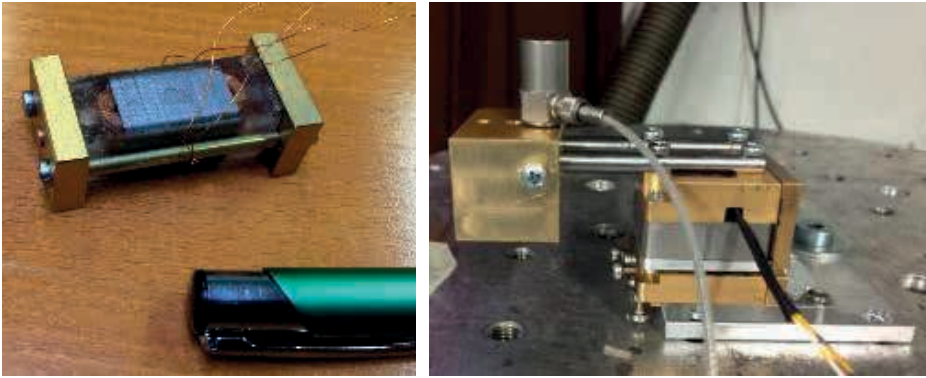
*Kuva 6. Langaton anturiverkko (kuva Elmar Bernhardt).*

## MUISTIMETALLISOVELLUKSET (MSM)

Hankkeessa rakennettiin ja kehitettiin protokappaleita värinästä sähköä tuottavalle virtalähteelle (energiaharvesterille) sekä liikettä tuottavalle aktuaattorille. Mekaanisesta värähtelystä sähköä tuottava laite eli energiaharvesteri suunniteltiin ja valmistettiin. Laitteen toiminta perustuu siihen, että värinä aiheuttaa magneettisen muistimetallin (MSM) kutistumista ja venymistä. Kun MSM-metallipalan venyminen ja kutistuminen katkoo magneettipiiriin vuota, indusoituu magneettipiiriin käämiin vaihtojännite. Tähän kehitettiin ja toteutettiin myös jännitteen tasasuuntauspiiri. Laite toimii taajuusalueella 1–100 Hz, ja se on optimoitu koneiden yleisimmille värinätaajuuksille 25–50 Hz. Valmistuksen jälkeen energiaharvesteria testattiin Xamk/3K-laboratoriossa sijaitsevassa tärstimessä eri taajuus- ja amplitudialueilla.

Tehdasympäristössä Xamkin Kuitulaboratoriossa toteutettujen mittausten perusteella todettiin laitteessa kehittämistarvetta ja tehtiin laitteesta parannettu protokappale. Tehokkuutta parannettiin teknisin parannuksin itse laitteesta sekä elektroniikassa. Laitetta testattiin testipenkissä laboratoriossa sekä teollisuusolosuhteissa Kuitulaboratoriossa. Resonanssiolosuhteissa laite tuottaa sähkötehoa 700 mW ja ei-resonanssiolosuhteissa noin 10 mW. Saavutetut tehot ovat riittäviä teollisuuden monien antureiden ja lähettimien toimintaan.

Nopeaa ja tarkkaa liikettä tuottava toimilaite eli aktuaattori suunniteltiin ja tarvittavat osat valmistettiin. Aktuaattori on varustettu liikettä monitoroivalla anturilla (kuva 7). Erityisominaisuutena laitteessa on se, että se kuluttaa sähköä vain sen lyhyen ajan, kun asemaa muutetaan. Tällaisia aktuaattoreita tarvitaan muun muassa pneumaattikka- ja hydraulikkaventtiileissä sekä autofocus-laitteissa. Aktuaattori saavuttaa jopa liikenopeuden 3 m/s, ja 0,6 millimetrin siirtymän ajassa 0,3 millisekuntia. Tällaisiin suoritusarvoihin ei tiettävästi päästä muilla teknologioilla.



*Kuva 7. Aktuaattori (vas) ja energiaharvesteri (oik) (kuvat Elina Havia).*

## YHTEENVETO

Savonlinna Smart Demonstrations (SMD) -hankkeessa kehitettiin ja testattiin uusi, älykäs ja vaikeisiin olosuhteisiin suunniteltu kuvantamisjärjestelmä prosessitekniiikan sekä ympäristö- ja energiatekniiikan alan yritysten hyödynnettäväksi. Hankkeessa kehitettiin myös NMR-teknologian (ydinmagneettinen resonanssi) ja MSM-materiaalien (magneettinen muistimetalli) ratkaisuja sekä selvitettiin erilaisia sensoritekniikan sovelluksia. Käytännön tuoteaihioina olevia ja projektin aloitusvaiheessa pääosin teoreettisessa muodossa olevia ideoita edistettiin ja kehitettiin soveltuvin osin prototyypeiksi.

Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulun (Xamk) Elektroniikan 3K-tehtaan ja Kuitulaboratorion sekä Lappeenrannan teknillisen yliopiston Materiaalifysiikan laboratorion yhteinen hanke toteutettiin ajalla 1.4.2015–31.3.2017. Hanketta rahoittivat Etelä-Savon maakuntaliitto Euroopan aluekehitysrahastosta ja toteuttajaosapuolet sekä Andritz Pulp and Paper Mill Services, Valmet Oyj, Ket-Met Oy, HV Cable Solutions Oy, Rautaseiska Oy, Suur-Savon Energiasäätö ja Savonlinnan Yrityspalvelut Oy.

# LED-VALAISTUSJÄRJESTELMÄ LUKELUX 1000 KUUSEN KASVULLISEN LISÄYKSEN TUTKIMUKSEEN

Elmar Bernhardt & Henri Montonen & Elina Havia & Hannu Leinonen

Elektroniikan 3K-tehdas suunnitteli ja toteutti osana BioLed-hanketta LED-valaisujärjestelmät Luonnonvarakeskuksen kuusen kasvullisen lisäyksen tutkimukseen. Elektroniikan 3K-tehdas suunnitteli LED-tekniikoihin perustuvat innovatiiviset ja energiatehokkaat valaistusmenetelmät ja -järjestelmät, toteutti niiden valmistuksen sekä suoritti järjestelmien testauksen ja asennukset valittuihin pilot-kohteisiin. BioLed-hanketta rahoitti Etelä-Savon maakuntaliitto Euroopan aluekehitysrahastosta.

Toteutettu valaistusjärjestelmä vastasi hyvin kehittämistarpeeseen. Toiminnan tuloksia hyödynnetään Luonnonvarakeskuksen tutkimustoiminnassa sekä Elektroniikan 3K-tehtaan omaan TKI-toimintaan kuuluvassa järjestelmien kehitystyössä.

## JOHDANTO

Elektroniikan 3K-tehdas suunnitteli ja toteutti säädettävän, LED-tekniikalla toteutetun valaisujärjestelmän Luonnonvarakeskuksen kuusen kasvullisen tutkimuksen kehitystarpeisiin. Elektroniikan 3K-tehdas suunnitteli LED-tekniikoihin perustuvat innovatiiviset ja energiatehokkaat valaistusmenetelmät ja -järjestelmät, toteutti niiden valmistuksen sekä suoritti järjestelmien testauksen ja asennukset valittuihin pilot-kohteisiin.

Kasvullisella lisäyksellä voidaan tuottaa halutunlaista ja tasalaatuista metsänviljelyaineistoa. Alkiomonistuksella voidaan nopeuttaa kuusenjalostusta. LED-valaistuksen käytöllä solukotaimien tuotannossa voidaan lisätä taimikasvatuksen energiatehokkuutta sekä tutkia eri valojen ja valon aallonpituuksien vaikutusta taimituotantoon. LED-valaistusta voitaisiin soveltaa myös bioreaktoreihin.

BioLed-hanke toteutettiin yhteistyössä Luonnonvarakeskuksen kanssa. Toteutettu valaistusjärjestelmä vastasi hyvin kehittämistarpeeseen.

# LED-VALAISUJÄRJESTELMÄN SUUNNITTELU JA LED-AALLONPITUUKSIEN VALINTA

Yhdessä Luonnonvarakeskuksen asiantuntijoiden kanssa valittiin neljä eri aallonpituus- aluetta valaistusjärjestelmää varten. LED-mallien ja -valmistajien valinnassa käytettiin seuraavia valintakriteerejä:

- Valoteho (Lumen/Watt) ja maksimiteholuokka
- Aallonpituus ja saatavuus samalta valmistajalta
- Saatavuus jakelijoilta
- Hinta.

Valitut LED-tyypit esitetään taulukossa 1. LED:ien teholuokka on riittävän suuri, jotta saadaan aikaan riittävän voimakkaita LED-valaisimia. LED:ien maksimivirta on 1000 mA.

*Taulukko 1. Valitut LED:t, CREE XP-E -sarja.*

CREE INC.	XPEFAR-L1-R250-0	Far Red 740 nm
CREE INC.	XPEPHR-L1-R250-00801	Deep Red 650–670 nm
CREE INC.	XPEROY-L1-0000-00901	Royal Blue 465 nm
CREE INC.	XPEGRN-L1-0000-00B03	Green 535 nm

## LED-OPTIIKAN VALINTA

Teholedien säteilykeila on oletuksena hyvin suuri, tyypillisesti arvojen 120–150° välillä. Cree LED:n tapauksessa säteilykeila on 130°. Hyllyvalaistuksessa merkittävä osuus valomäärästä häviää käyttämättömänä hyllytason ulkopuolelle. Optisen tehon suuntauksen parantamiseksi tarvitaan sopiva linssiratkaisu LED:n eteen. Koska valaistuskohde, valaistusetäisyydet ja kohdistussuunnat eivät olleet valaistusjärjestelmän kehitysvaiheessa tarkasti tiedossa, hankittiin vaihtoehtoisia linsskejä, jotka ovat helposti vaihdettavissa. LED-linssin valintakriteerit olivat:

- Yhdistelmälinssi neljälle LED:lle
- Optisesti yhteensopiva valitun LED-mallin kanssa
- Säteilykeilojen määrä samalla linssimallilla (linssit ovat vaihdettavissa keskenään)
- Saatavuus
- Hinta.

Sopivin ja helposti saatava linssimalli (kuva 1) löytyy LEDIL Oy:ltä, linssimalli GT-4 (taulukko 2).

**Taulukko 2.** Valitut linssimallit.

Ledil	C10921_GT4-S	18deg
Ledil	C10922_GT4-M	27deg
Ledil	C10923_GT4-W	37deg
Ledil	C10975_GT4-WW	56deg

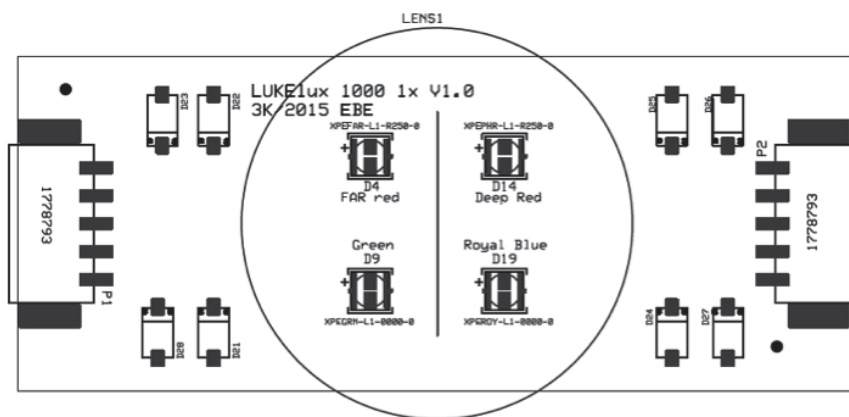
## PIIRILEVYSUUNNITTELU VALAISUJÄRJESTELMÄÄN

Valaisintestausta varten suunniteltiin kaksi eri piirilevymallia (kuva 1 ja kuva 2):

1x4 ryhmän LED-piirilevy: Lukelux1000\_V1.0\_1x

4x4 ryhmän LED-piirilevy: Lukelux1000\_V1.0\_4x.

Ketjutetuilla 1x4-ryhmän piirilevyillä voidaan järjestää joustavia valaistusratkaisuja ja suorittaa valotehomittauksia. Pitkillä 4x4-ryhmän piirilevyillä voidaan toteuttaa kiinteästi asennettuja hyllyvalaisimia. Testien perusteella kiinteästi asennettavat hyllyvalaisimet päätettiin toteuttaa ketjuttamalla 1x4-ryhmän LED-piirilevyjä.



**Kuva 1.** Lukelux1000\_V1.0\_1x, koko 75x30mm.



**Kuva 2.** Lukelux1000\_V1.0\_4x, koko 460x30mm.

## LED-TEHOLÄHDE JA VALO-OHJAUSRATKAISU

Laajempaan ja monipuoliseen tutkimuskäyttöön suunnitellun valo-ohjausjärjestelmän tulee olla asennusystävällinen (johdotus, sähkösyöttö ja ohjausdatalinjat). Järjestelmän tulee olla skaalattava siltä varalta, että valaistava pinta-ala kasvaa oleellisesti tai käyttökohde muuttuu. Valaisimen ohjattavuuden tulee olla yksilöllinen, jotta tutkimusta varten voidaan käyttää eri valotusarvoja eri näytteille. Ohjausjärjestelmän tulee olla yksinkertainen ja digitaalinen.

Sopivin valo-ohjaustekniikka on aiemman analogisen ohjauksen korvannut digitaalinen DMX512-standardiin perustuva järjestelmä, joka kykenee ohjamaan jopa 512:ta eri valaisinyksikköä yksilöllisillä säädöillä. DMX LED -teholähteiden valintakriteerit olivat:

- Neljän kanavan ohjaus (ns. RGBW, 4 channel driver)
- Virta kanavaa kohden 700–1000mA
- Ulostulojännite 7–8 LED-ketjuun. (Kriittisin kanava on vihreä)
- DMX-yhteensopiva
- Saatavuus
- Hinta.

Kolmea erilaista LED-teholähdettä testattiin. Lopulta löydettiin tarpeita vastaava toimiva ratkaisu, jolla onnistuu kahdeksan ketjutetun nelikanavaisen LED-piirilevyn ohjaaminen. Käytetyt kanavakohtaiset maksimivirrat ovat 1000 mA. LED-teholähde vaatii 32 voltin tasajännitesyötön. Valittu teholähde on DMX512-yhteensopiva.

Rakennettuja valaisimia testattaessa havaittiin, että käyttöön valikoituneissa valo-ohjaimissa oli eroja. Eri valaisimet paloivat samoilla valaistusparametreilla eri voimakkuuksilla. Vaikka valo-ohjaimet olivat samalta valmistajalta ja samaa mallia, oli valmistaja käyttänyt niissä erilaisia PWM-taajuuksia. Osassa ohjaimista oli käytössä noin 200 Hz:n taajuus ja osassa noin 1 kHz:n taajuus. Tästä johtuen valo-ohjaimet vaihdettiin hieman kalliimpiin versioihin, joissa PWM-taajuus oli kaikissa sama. Lisäksi taajuutta oli tarvittaessa mahdollista myös säätää käyttäen arvoja [500Hz, 1kHz, 2kHz, 3kHz...]. Käyttöön valittiin 1 kHz:n taajuus.

## LED-VALAISUJÄRJESTELMÄN TESTAUS

Erilaisia DMX512-laitteiden ohjaukseen soveltuvia tietokoneohjelmistoja testattiin. Testatut ohjelmistot olivat QLC+, Freestyler, DMXControl ja Eldoled FLUXTOOL.

Valaistuksen mittaukseen soveltuvista laitteista testattiin Gigahertz-Optikin mittalaitteet BTS256-(PAR) ja MSC15. Testatuista valaistuksen mittalaitteista todettiin, että mittalaite MSC15 ei sovellu PWM-ohjattujen valaisimien mittaukseen.

Valmistettuja 1x4-ryhmän piirilevyjä ja niiden toimivuutta arvioitiin seuraavasti (kuva 3):

- Yksittäisellä LED-levyllä vertailtiin eri säteilykeilan omaavia linssejä
  - kapea keila, leveä keila, erittäin leveä keila
- Ketjutetuilla 1x4-ryhmän piirilevyillä suoritettiin valotehomittauksia käyttäen
  - eri linssvaihtoehtoja:
    - Kaikissa ledeissä samat linssit
    - Osassa ledeistä eri linssit
    - Eri ledin etäisyyksiä valaistavasta pinnasta
    - 25cm, 30cm, 40cm
  - Eri LED-piirilevyjen määrää samankokoiselle valaistavalle alueelle
    - 4 kpl, 6 kpl, 8 kpl
  - Eri LED-palkkien sijoitusta valaistavan pinnan yläpuolella
    - Hyllytason reunan kohdalla
    - Lähempänä hyllytason keskipistettä
  - Eri LED-palkin asennuskulmia
    - Suoraan alaspäin
    - Pienessä kulmassa kallistettuna kohti hyllytason keskipistettä
  - Eri LED-levyjen keskinäistä sijoittumista LED-palkissa
    - LED-levyt tasajaolla palkissa
    - LED-levyt epätasaisella jaolla LED-palkissa.



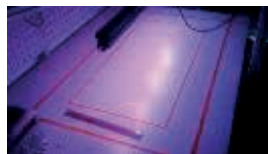
*Kapea 18deg.*



*Leveä 37deg.*



*Erittäin leveä 56deg.*



*Ilman linssiä.*

**Kuva 3.** Erilaiset säteilykeilat (kuvat Elektroniikan 3K-tehdas).



## LED-VALAISIMIEN TESTAUS HYLLYASENNUKSESSA

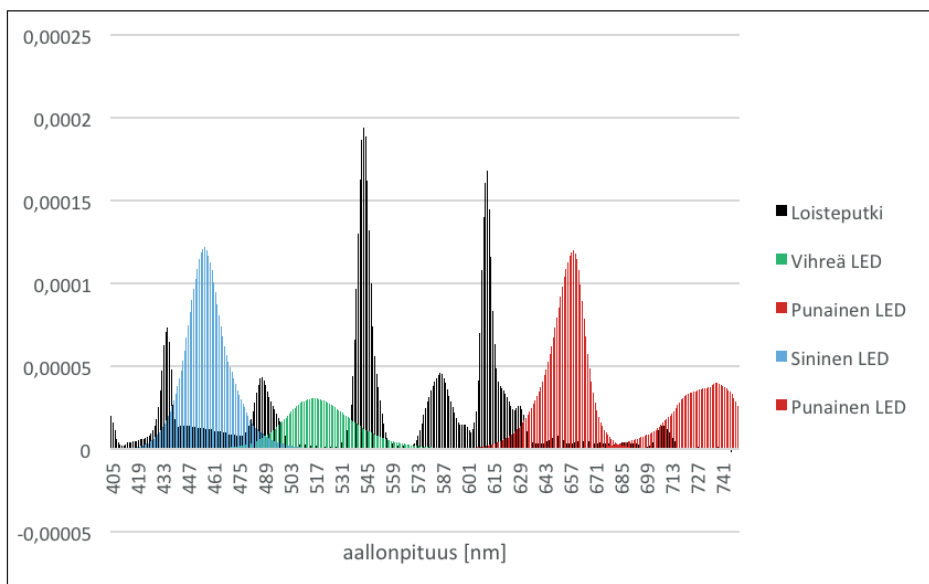
Valaisimia testattiin hyllyasennuksessa (kuva 4). Valaisimet asennettiin testitelineen avulla, jotta korkeus ja leveys ovat säädettävissä. Mittauksissa paikan päällä havaittiin, että linseillä varustettu 4x8 LED:n valoteho vaihtelee liikaa hyllytasojen pinnassa. Valoteho tasaantuu, jos LED:stä poistaa linssijä, mutta samalla valoteho laskee merkittävästi ja on liian alhainen. Havaittuihin kehityskohteisiin perustuen toteutettiin parannettu valaisujärjestelmä (kohta Valomäärän ja valovoimakkuuden lisäys 700 nm:n alueelle).



*Kuva 4. LED-valaisimien hyllyasennus (kuvat Frida Lappalainen/LUKE).*

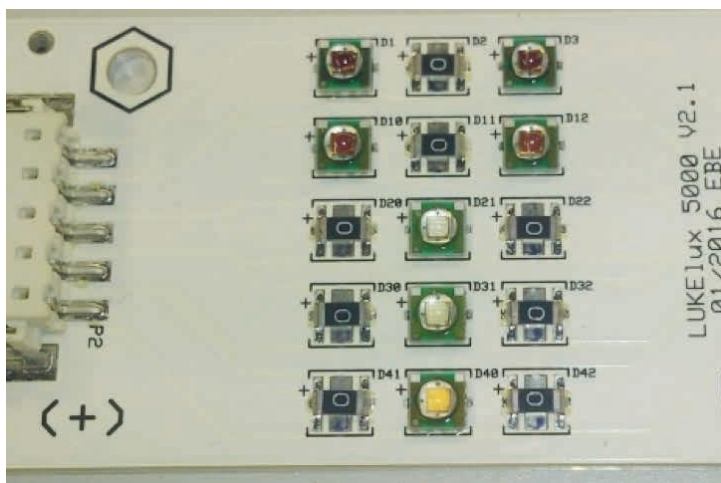
## VALOMÄÄRÄN JA VALOVOIMAKKUUDEN LISÄYS 700 NM:N ALUEELLE

Testatun valaisujärjestelmän valomäärän todettiin olevan liian alhainen 4x8 LED:llä sekä todettiin 700 nm:n kohdalla sijaitseva valovoimakkuuden minimi. Kuvassa 5 on esitetty sekä loisteputken että LED:n spektrijakauma. Loisteputken päävaloteho on selkeästi muilla alueilla kuin LED-valoteho. 700 nm:n alueelle toivottiin lisää valovoimakkuutta.



**Kuva 5.** Mitattu loisteputken vs. LED:ien valospektri ja voimakkuus.

Valotehon lisäämiseksi 700 nm:n alueelle päätettiin lisätä lämpimän valkoinen LED sinisen, vihreän, punaisen ja kaukopunaisen rinnalle. Lämpimän valkoisesta LED:stä suodatettiin erillisellä muovikalvolla kaikki muut värit 650 nm:n alapuolelta. Kalvon saatavuutta ja suodatusominaisuuksia selvitettiin. Valmiissa LED-piirilevyssä on kaukopunaisia ja punaisia ledejä kaksi kappaletta ja vihreitä, sinisiä sekä valkoisia ledejä yksi kappale (kuva 6). Taulukoissa 3 ja 4 esitetään mitatut kokonais- ja osavalotehot.



**Kuva 6.** Valmiissa LED-piirilevyssä on kaukopunaisia ja punaisia ledejä kaksi kappaletta ja vihreitä, sinisiä sekä valkoisia ledejä yksi kappale (kuva Elektroniiikan 3K-tehdas).

**Taulukko 3.** Radiometriset kokonaisvalotehot, kokonaisvalotehovertailu (radiometriset arvot) 380–750 nm:n spektrialueella.

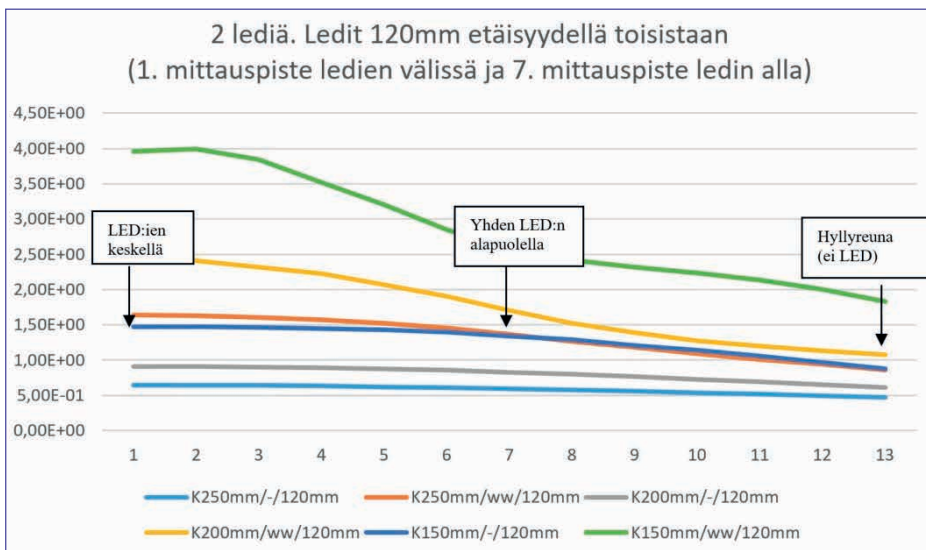
Arvo	Valolähde
6,56 μW	Kasvuhyllyjen loisteputken kokonaisteho, nykyisellä hyllytasotäisyydellä (30 cm)
9,15 μW	Loisteputki mitattu 15 cm:n etäisyydellä 3K-tehtaalla
9,33 μW	Kaikki neljä LED:iä 100 % (15cm:n korkeudessa hyllytasolta)

**Taulukko 4.** Radiometriset osa-alueiden valotehot.

LED:n radiometrinen valoteho	LED:	Mittausalue	Loisteputken radiometrinen valoteho:
3,32 μW	Sininen LED teho 100 %	405–540 nm	2,04 μW
1,48 μW	Vihreä LED teho 100 %	446–630 nm	5,29 μW
2,96 μW	Punainen teho 100 %	581–714 nm	2,71 μW
1,58 μW	Kaukopunainen teho 100 %	645–750 nm	0,36 μW

## LED-VALAISTUKSEN INTENSITEETIN TASAISUUS HYLLYTASOILLA

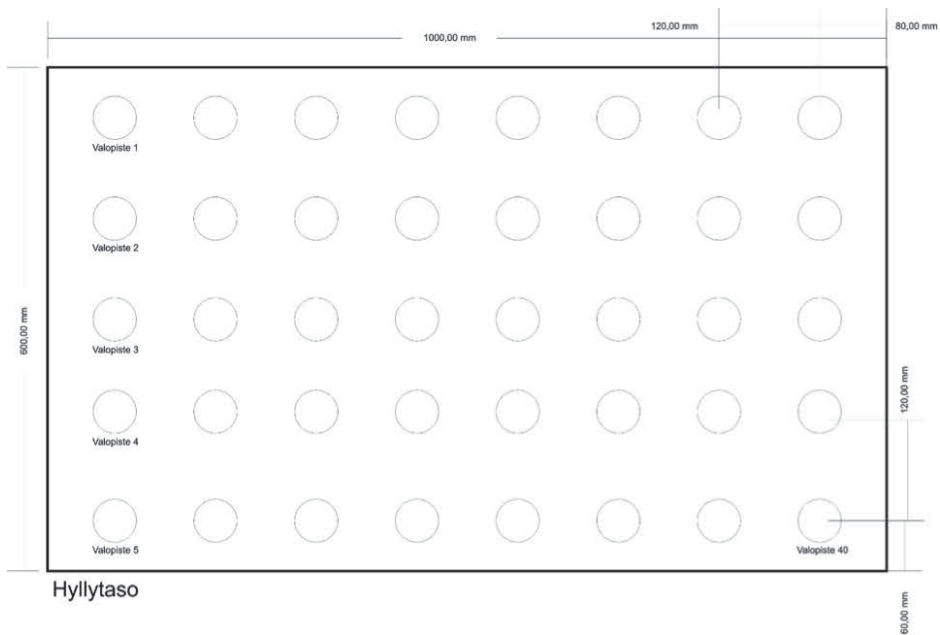
Valointensiteetin jakauma hyllytasolla mitattiin. Hyväksyttävä valointensiteettivaihtelu saavutetaan 150 millimetrin etäisyydellä hyllytasolta ja LED:ien 120 millimetrin jaolla. Valopisteiden jakauma hyllytasoon nähden esitetään kuvassa 7.



**Kuva 7.** Valointensiteetin jakauma, LED:t 120 mm:n jaolla. Mittauspisteet sentin välein.

LED-valaistuksen valointensiteettien osalta todetaan:

- 1 kpl sinisellä LED:llä pääsee 45 prosenttiin loisteputken tehosta (Minimitavoite on 30 %)
- 1 kpl vihreällä LED:llä pääsee 23 prosenttiin loisteputken tehosta (Minimitavoite on 30 %)
- 1 kpl punaisella LED:llä pääsee 51 prosenttiin loisteputken tehosta -> Tarvitsemme 2 kpl päästäksemme 100 prosenttiin
- 1 kpl kaukopunaisella LED:llä pääsee 24 prosenttiin loisteputken tehosta (Minimitavoite on 30 %).



*Kuva 8. Valopisteiden jakauma hyllytasoon nähden.*

## LED-VALAISUJÄRJESTELMÄN VALMISTUS JA KOKOONPANO SEKÄ ASENNUS

Suunnitellut hyllyvalaisimet koottiin valmiiksi ja testattiin Elektroniikan 3K-tehtaalla (kuva 9 ja 10), minkä jälkeen ne asennettiin Luonnonvarakeskuksen tutkimuslaboratorioon. Toitettua valaisujärjestelmää hyödynnetään Luonnonvarakeskuksen tutkimustoiminnassa.



*Kuva 9. Hyllyvalaisimet valmistuksessa ja kokoonpanossa (kuvat Henri Montonen).*



*Kuva 10. Valmiit hyllyvalaisimet testikäytössä (kuva Henri Montonen).*

## YHTEENVETO

Elektroniikan 3K-tehdas suunnitteli ja toteutti säädettävän, LED-tekniikalla toteutetun valaisujärjestelmän Luonnonvarakeskuksen kuusen kasvullisen tutkimuksen kehitystarpeisiin. Yhteistyössä Luonnonvarakeskuksen asiantuntijoiden kanssa valittiin neljä aallonpituusalueetta valaistusjärjestelmää varten. Aallonpituusalueelle soveltuvat LED-sirut sekä niiden käyttötarkoitukseen soveltuvat linssit valittiin. Piirilevyt suunniteltiin ja valmistettiin. Erilaisia LED-teholähteitä testattiin ja valittiin käyttöön tehölähdetyyppi, jolla onnistuu kahdeksan nelikanavaisen LED-piirilevyn ohjaaminen. Toteutettu valaisujärjestelmä testattiin monipuolisesti, ja valmis valaisujärjestelmä asennettiin Luonnonvarakeskuksen tutkimuslaboratorioon.

Toteutettu valaistusjärjestelmä vastasi hyvin kehittämistarpeeseen. Toiminnan tuloksia hyödynnetään Luonnonvarakeskuksen tutkimustoiminnassa sekä Elektroniikan 3K-tehtaan omaan TKI-toimintaan kuuluvassa järjestelmien kehitystyössä. Johtava tutkija Tuija Arosen tutkimusryhmälle Luonnonvarakeskuksessa kuuluu kiitos hyvästä yhteistyöstä.

# MRI-KUVANTAMINEN TEOLLISUUSSOVELLUKSISSA

Ekaterina Nikolskaya & Mika Liukkonen & Yrjö Hiltunen

Ydinmagneettinen spektroskopia (NMR) on kemiallisen analytiikan perusväline, jossa mitataan vety-ytimien magneetikentässä emittoimaa radiotaajuista signaalia. Siksi se soveltuu runsaasti vetyä sisältävien materiaalien, kuten vesipitoisten aineiden, tutkimiseen. Se on ainoa menetelmä, jolla nesteeseen liuotetusta molekyylistä voidaan ratkaista sen kemiallinen rakenne ja kolmiulotteinen avarusrakenne. NMR-spektroskopia on kuitenkin suhteellisen kallis menetelmä, ja sitä hyödynnetään käytännössä vain laboratorio-olosuhteissa. Menetelmän yksinkertaistettu versio perustuu niin sanottujen relaksaationaikojen mittaukseen. Tällöin laitteisto on huomattavasti yksinkertaisempi ja halvempi, mutta sillä ei saada yhtä tarkkaa kemiallista informaatiota mitattavista kohteista. Toisaalta menetelmän avulla on pystytty kehittämään standardoituja mittaussovelluksia teollisuuteen. Myös Kuitulaboratoriossa on kehitetty tähän menetelmään perustuvia sovelluksia (esim. Nikolskaya et al. 2015) eri tutkimusprojekteissa.

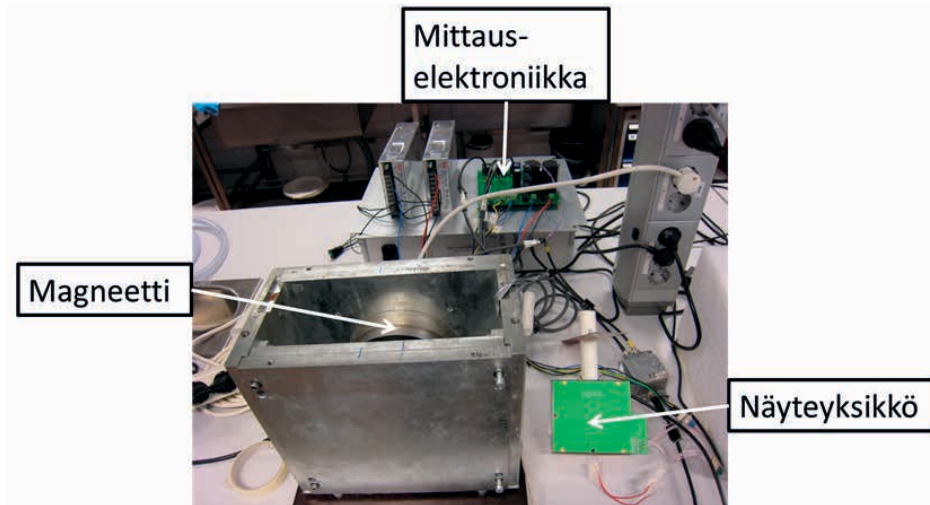
Kun tähän relaksaatioaikoihin perustuvaan menetelmään lisätään niin sanottu paikkatieto, joka kertoo mistä kohdasta näytettä signaali on peräisin, päädytään magneettikuvaukseen (Magneettikuvaus 2017), jolla voidaan saada tietoa esimerkiksi biologisten kohteiden anatomisesta rakenteesta. Menetelmä on yleistynyt erittäin voimakkaasti lääketieteellisessä diagnostiikassa, koska se antaa tarkkaa tietoa esimerkiksi pehmytkudoksista. Kehittyneessä reaaliaikaisessa magneettikuvauksessa voidaan tutkia dynaamisia elintoimintoja, kuten esimerkiksi sydämen toimintaa, reaaliajassa.

Kuitulaboratoriossa on toteutettu niin sanottu low cost MRI -kuvauslaite, jota voidaan käyttää kuvauksen demonstroimiseen pienimuotoisissa teollisuuden prosesseissa. Laitteistototeutuksessa on pyritty pääsemään selvästi halvempaan ja robustimpaan ratkaisuun kuin esimerkiksi kaupallisissa lääketieteellisissä laitteistoissa. Tavoitteena on jatkossa myös soveltaa menetelmää muun muassa erittäin nopeiden sekoitusilmioiden mittaamiseen mikrotasolla biotuotevalmistuksessa. Lisäksi tarkoituksena on selvittää reaaliaikaista magneettikuvauksen hyödyntämistä teollisuuden mittauksissa.

## MRI-LAITTEISTOKEHITYS

Laite toteutettiin kansainvälisenä yhteistyönä Volga State University of Technologyn (Venäjä) kanssa, koska toteutus vaatii erityisosaamista ja kaikkia low cost -laitteeseen liittyviä

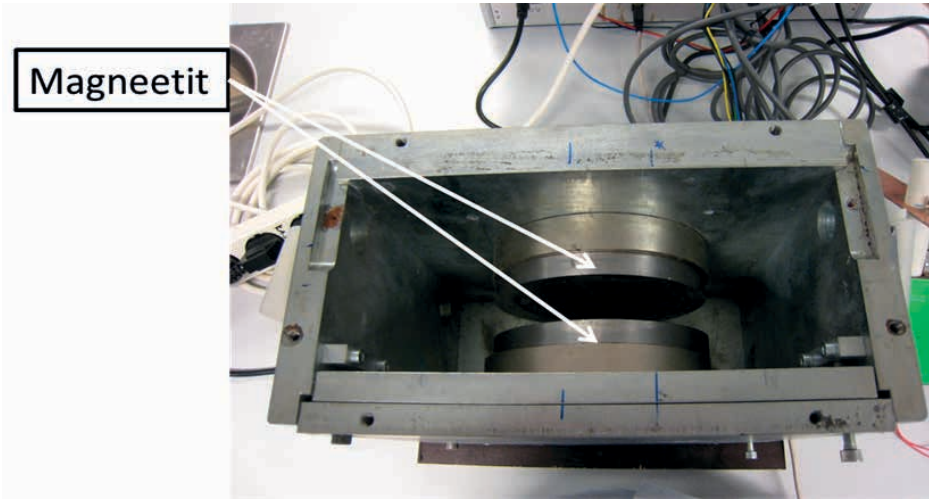
osia ja tarvikkeita ei ole kaupallisesti saatavissa. Lisäksi toteutettavalla laitteistolla oli vaatimuksena, että sillä pystytään mittaamaan virtaavia näyteitä, mikä on poikkeuksellista MRI-laitteille. Kuvassa 1 on esitetty kehitetty laitteisto, joka sisältää mittauselektronikan, magneetin ja näyteyksikön. Tämän lisäksi tarvitaan tietokone, jolla suoritetaan tarvittava kuvanmuodostamisen signaalinkäsittely.



**Kuva 1.** Kehitetty MRI-laitteisto (kuva Yrjö Hiltunen).

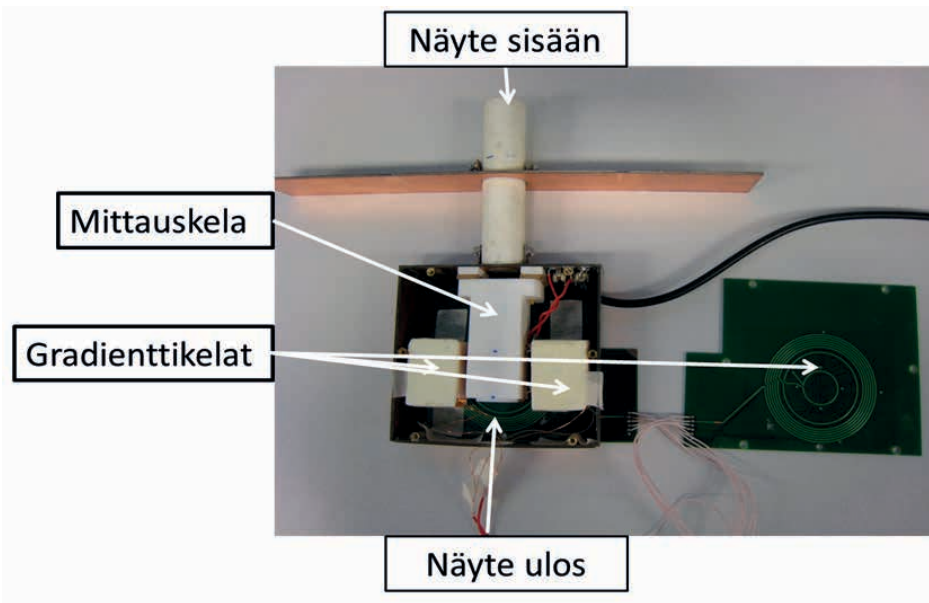
Kuvassa 2 on laitteiston magneetti, joka luo staattisen noin 0,5 teslan magneettikentän mittausalueelle. Laitteistossa on hyödynnetty permanenttia magneettia, joka mahdollistaa suljetumman rakenteen ja sitä kautta robustimman rakenteen teollisiin sovelluksiin. Magneettien välimatka on noin 20 millimetriä, mikä mahdollistaa noin 15 millimetrin virtausputken sijoittamisen näyteyksikköön. On huomattava, että esimerkiksi lääketieteellisissä MRI-laitteissa on avoimet magneettikentät, jotka puolestaan vaativat hyvin pitkän suojaetäisyyden, mikä ei ole mahdollista teollisissa ympäristöissä.





**Kuva 2.** MRI-laitteiston magneetti, joka on toteutettu kestmagneetilla (kuva Yrjö Hiltunen).

Kuvassa 3 on laitteiston näyteyksikkö, joka mahdollistaa näytteen virtauksen sen läpi. Näin päästään mittaamaan virtaavia nestenäytteitä ja lopulta tutkimaan esimerkiksi pienessä mittakaavassa sekoitusilmioitä. Näyteputken halkaisija on tällä hetkellä 15 millimetriä. Näyteyksikkö sisältää myös gradienttikelat, joilla luodaan MRI-tekniikkaan liittyvä muuttuva magneettikenttä, jonka avulla voidaan suorittaa paikkakoodaus. Tämä mahdollistaa edelleen kuvatiedon laskennallisen tuottamisen mittauskohteesta.



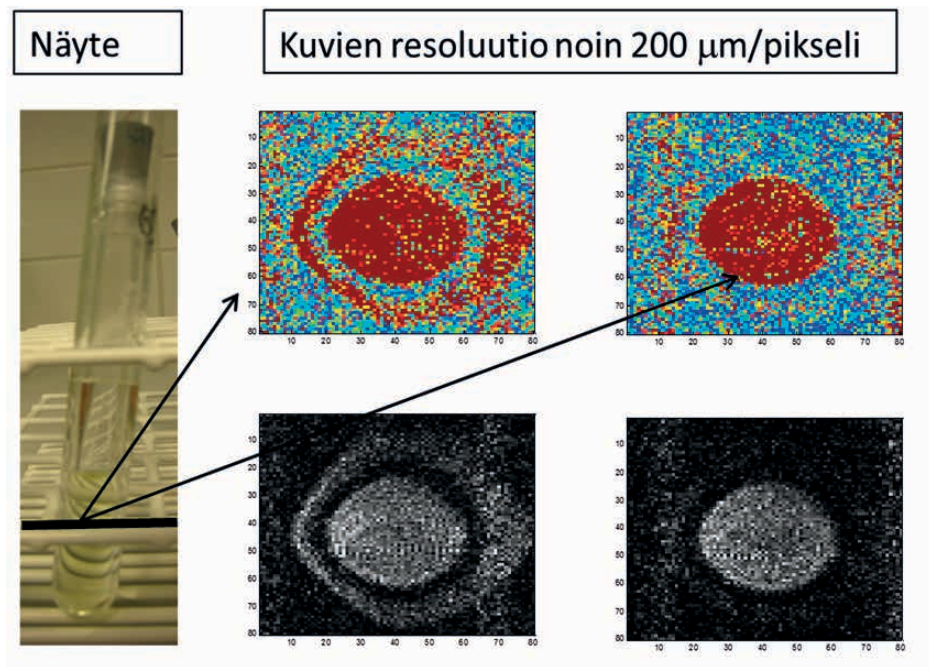
**Kuva 3.** MRI-laitteen näyteyksikkö, joka mahdollistaa näytteen virtauksen (kuva Yrjö Hiltunen).

## MRI-LAITTEEN TESTAUS

Laitteistoa testattiin näytteillä, joissa oli kahdessa sisäkkäisessä putkessa esimerkiksi öljyä ja vettä. Näin pystyttiin näkemään, että syntyvät kuvat vastaavat todellisia näytteitä ja esimerkiksi niiden muoto on oikea. On huomattava, että tulokset ovat herkkiä gradienttikelojen laadulle ja symmetrialle.

Kuvassa 4 on esitetty yhden testinäytteen tulokset, joissa kuvan resoluutio on  $200\ \mu\text{m}/\text{pikseli}$ . Näytteessä on sisemmässä putkessa öljyä ja ulommassa vettä. Näytteestä on tehty kaksi erilaista mittausta, joista vasemmanpuoleisessa on mitattu sekä öljystä että vedestä tulevat signaalit ja oikeanpuoleisessa vain öljystä tuleva. Tämä osoittaa, että magneettikuvauksella voidaan suhteellisen helposti painottaa erilaisia piirteitä kuvattavasta kohteesta.

Kuvassa 4 on myös esitetty sekä värilliset että mustavalkoiset versiot kuvista. Kuvista nähdään, että gradienttikelat eivät ole vielä aivan symmetriset, koska putkista tulevat signaalit eivät ole aivan ympyränmuotoisia. Lisäksi laitteiston mittaamaa signaali/kohina-suhdetta täytyy vielä parantaa. Kun edellä olevat parannukset saadaan valmiiksi, siirrytään seuraavassa vaiheessa virtaaviin näytteisiin ja sitä kautta lähemmäs todellisia kohteita. Toisaalta tulokset ovat olleet tässä vaiheessa lupaavia, joten mittaukset virtaavilla näytteillä antavat varmasti lisäinformaatiota sekoitusilmiöistä.



**Kuva 4.** Testinäytteestä (vasemmalla) mitatut kuvat, joissa vasemmanpuoleisissa on näkyvis-  
sä kaikki piirteet ja oikeanpuoleisissa on korostettu öljyosuudesta tulevaa signaalia (kuva Yrjö  
Hiltunen).

## LÄHTEET

Ekaterina Nikolskaya, Mika Liukkonen, Janne Kankkunen and Yrjö Hiltunen, ” A non-fouling online method for monitoring precipitation of metal ions in mine waters”, IFAC Papers OnLine, Volume 48, Issue 17, 2015, Pages 98–101, doi:10.1016/j.ifacol.2015.10.085

Magneettikuvaus – Wikipedia. <https://fi.wikipedia.org/wiki/Magneettikuvaus>. Viitattu 28.9.2017.

# TEOLLISUUSPROSESSIEN TEHOKKAAMMAT TIEDON- JALOSTUSRATKAISUT

Mika Liukkonen & Yrjö Hiltunen

Teollisuusprosesseja ohjataan ja hallitaan mittaustiedon perusteella. Suurten ja moniulotteisten datamassojen hyödyntäminen vaatii kuitenkin myös tietomäärän jalostamista ja tiivistämistä. Teollisuusdatan tiedonjalostamisketjulla tarkoitetaan yleisesti laskennallista prosessia raakadatasta tietämykseen. On tärkeää, että matematiikan, tilastotieteen sekä tietojenkäsittelytieteen menetelmiä sisältävän ketjun loppupäässä datan sisältämä informaatio jalostetaan käyttäjälle hyödylliseen muotoon. Lopputuloksena voi olla vaikkapa prosessin optimointiin liittyviä säätötekniisiä ratkaisuja tai yksinkertaisimmillaan tunnuslukuja tehdään tuotannosta tai toiminnasta.

Monilla teollisuuden aloilla syntyvän mittaustiedon määrä on kasvanut räjähdysmäisesti viime vuosina. Tästä hyvä esimerkki on prosessiteollisuus, jossa on jo perinteisesti kerätty paljon mittaustietoa. Digitalisaation myötä syntyy usein massiivisia datavarastoja (ns. Big Data), joita pyritään jalostamaan hyödylliseksi informaatioksi erilaisilla analytiikan keinoilla ja sen jälkeen visualisoimaan käyttäjäystävällisesti. Usein tämä tieto ei ole staattista, vaan sitä syntyy jatkuvasti lisää suuria määriä, ja kaikki tämä tieto tulisi kyetä käsittelemään ja analysoimaan mahdollisimman nopeasti. Tämä on edellytyksenä tiedon hyödyntämiselle varsinkin teollisuudessa, sillä nopeasti saatua analyysituloksia on mahdollista hyödyntää esimerkiksi prosessien säädössä ja erilaisissa ennakoivissa järjestelmissä.

Tuotantolaitoksen toiminnan dataan perustuvaa tarkastelua tehdään monella tasolla. Pää-  
töksenteko- ja management-tasolla käytetään huolella valittuja tuotannon tunnuslukuja. Päivittäisen yksikköprosessin hoitaminen edellyttää tarkempaa prosessidataa. Tarkasteltaessa yksittäisen toimilaitteen toimintaa saatetaan tutkia resoluutioltaan hyvinkin tarkkaa dataa. Mitä syvemmillä prosessia tarkastellaan, sitä enemmän ja tarkempaa dataa on yleensä käytettävä.

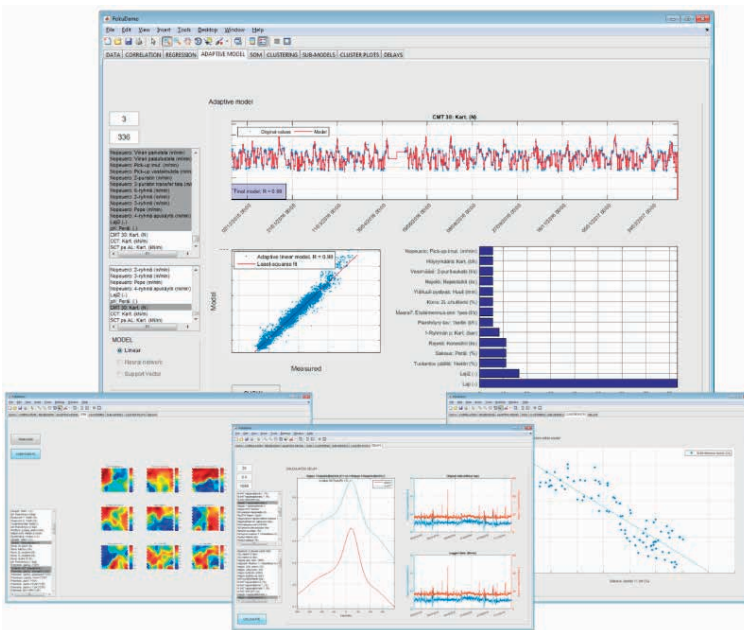
Tiedonjalostukseen tarkoitettuja datapohjaisia eli mittauksiin perustuvia mallinnumen-  
telmiä on viime aikoina kehitetty paljon, ja niitä on myös sovellettu menestyksekkäästi monilla teollisuudenaloilla hyvin erilaisiin tuotantoprosesseihin. Datapohjaisilla menetelmillä voidaan löytää suurissa tietomäärissä olevia yhteyksiä, joita ei tunneta ennalta tai joita on työlästä tai mahdotonta esittää fyysikaalisilla malleilla, joten lähtökohtaisesti ne soveltuvat erinomaisesti monimutkaisiin teollisuusprosesseihin.

# ÄLYKKÄÄT PROSESSI- JA MITTAUSDATAN ANALYSOINTITYÖKALUT

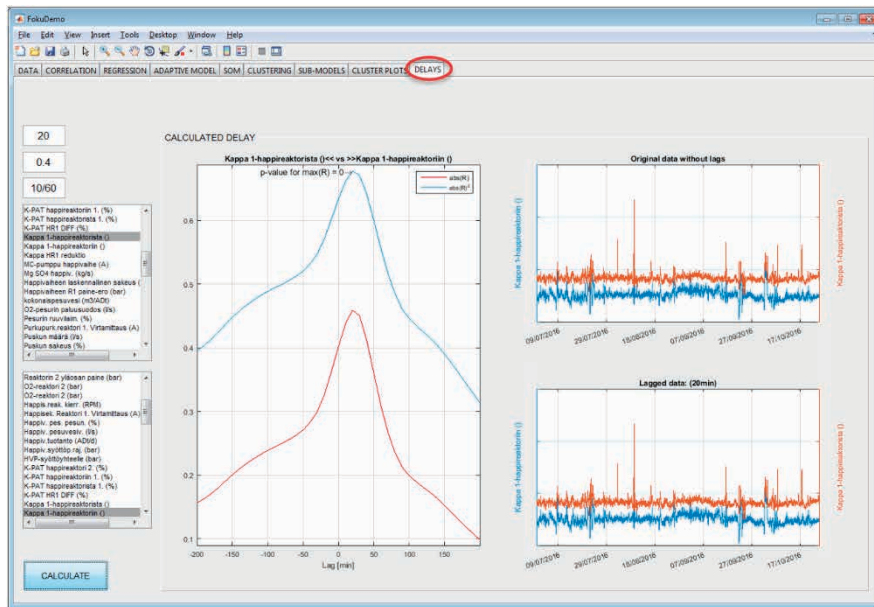
Prosessimittauksiin perustuvalla mallinnuksella voidaan pyrkiä esimerkiksi parantamaan prosessin energiatehokkuutta, vähentämään prosessin tuottamia päästöjä, seuraamaan prosessin tilaa tai analysoimaan raaka-aineiden, polttoaineiden ja tuotteiden laatua. Prosessimallinnukseen tuo omat haasteensa nykyaikaisen teollisuuden asettamat vaatimukset, joita ovat muun muassa reaaliaikaisuus, josta johtuen mallin tulee toimia lähestulkoon samassa ajassa todellisuuden kanssa, sekä adaptiivisuus, josta johtuen mallin tulee pystyä sopeutumaan teollisuudelle tyypillisiin dynaamisesti muuttuviin olosuhteisiin. Nämä ominaisuudet mahdollistavat mallien hyötykäytön teollisuudessa esimerkiksi erilaisissa diagnostiikkajärjestelmissä, virtuaalisensoreihin (soft sensor) perustuvissa sovelluksissa tai uudentyypisissä älykkäissä säätöratkaisuissa. Tällaiset älykkäät mallinnusmenetelmät voivat toimia pohjana kehittyneille ohjelmistotyökaluille.

*Älykkäät mallinnusmenetelmät:* Prosessimittauksista saatavan tiedon jalostaminen hyödynnettävään muotoon on usein haastava tehtävä, joten uusien mallinnusmenetelmien kehitystyötä tarvitaan. Uudentyyppiset älykkäät ja adaptiiviset datapohjaiset mallinnusmenetelmät voivat tarjota uusia reittejä tehokkaampaan ja laadukkaampaan tuottamiseen teollisuudessa.

*Kehittyneet ohjelmistotyökalut:* Kehitettyjä mallinnusmenetelmiä voidaan hyödyntää uudenlaisissa ohjelmistoratkaisuissa, joissa menetelmät on räätälöity käyttäjäystävälliseen muotoon (ks. kuvat 1 ja 2).



**Kuva 1.** FokuDemo-ohjelmiston osakokonaisuuksia, joissa hyödynnetään älykkäitä mallinnusmenetelmiä.



*Kuva 2. Esimerkki prosessiviiveiden matemaattisesta määrittämisestä.*

## KARTONGIN LAADUN MALLINNUS KEHITTYNEILLÄ MENETELMILLÄ

Aallotuskartongin valmistus on useista kokonaisuuksista muodostuva prosessi, ja sen tuotamaa laatua tarkasteltaessa on otettava huomioon kaikista osaprosesseista saatava tieto. Tällaista tietoa ovat esimerkiksi keittämöön, massanpesuun, jauhatukseen, kartonkikoneeseen sekä kartongin laatuun liittyvät online- ja laboratoriomittaukset. Kartongin laadun mallinnus ja älykkäiden työkalujen toteutus voivat sisältää esimerkiksi seuraavanlaisia osakokonaisuuksia:

- Data-aineiston esikäsittely (keskiarvoistus, viiveiden kohdistus, puuttuvien arvojen korvaaminen jne.)
- Korrelaatioanalyysi
- Tavanomaiset monimuuttujamallit
- Dynaamisesti päivittyvät (adaptiiviset) mallit (ks. kuva 3)
- Prosessitilojen mallinnus (kuvat 4 ja 5)
- Virtuaalisensori- eli ns. soft sensor -ratkaisut (kuvat 6 ja 7).

Pakkaukskartongin laatua kuvaavat esimerkiksi seuraavat suuret (Aaltopahvi 2017):

- CCT (Corrugated Crush Test, aallotuskartongin reunalitistystesti, jossa kartonki pidetään aallonmuotoisessa pidikkeessä)
- CMT (Concora Medium Test, aallotuskartongin litistyslujuustesti, jossa alustaan teipatut aallot litistetään)

- SCT (Short Span Compression Test, puristuslujuustesti, jossa kartonkia tyssätään vapaassa välissä).

Kartongin laadun mallintaminen käyttämällä tavanomaisia ratkaisuja on joissakin tapauksissa erittäin haastavaa, sillä kokonaisprosessi käyttäytyy dynaamisesti ja kartongin laatu riippuu myös kulloinkin valmistettavasta kartonkilajista.

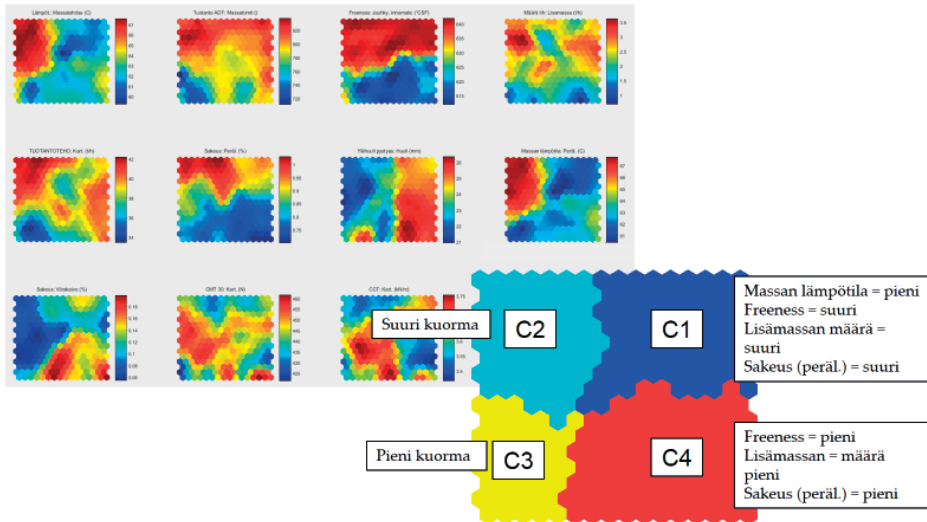
Kuvassa 3 nähdään esimerkki dynaamisesti päivittyvästä kartongin laatumallista (CMT). Kyseessä on lineaarinen monimuuttujamalli, joka koostuu kolmesta muuttujasta (= prosessimittauksesta) ja jota päivitetään säännöllisesti. Sekä mallin kertoimia että sen muuttujia päivitetään jatkuvasti uudella datalla – tässä tapauksessa siten, että mallinnus toteutetaan viimeisen kahden viikon ajalta olevalla aineistolla. Mallinnusvaiheessa valitaan siis aina ne muuttujat, joiden avulla kartongin laatu saadaan kuvattua parhaiten. Muuttujanvalinnalla voidaan pyrkiä myös kartoittamaan tutkittavaan asiaan vaikuttavat tekijät, jolloin mallintaminen ja syy-yhteyksien tunnistaminen helpottuvat.



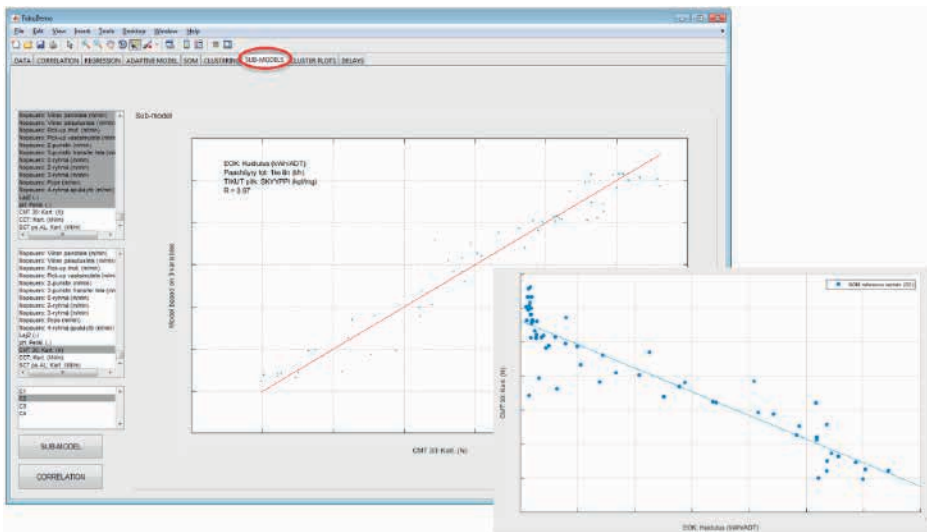
**Kuva 3.** Esimerkki dynaamisesti päivittyvästä kartongin laatumallista (CMT).

Itseorganisoituvat kartat (SOM) ovat kuvauksia moniulotteisesta datasta kaksi- tai useampiulotteisella tasolla. Malli sisältää opetusmuuttujina käytettyjen muuttujien informaatiot kartan pinnalla, jota voidaan käyttää tarkasteltaessa muuttujien välisiä riippuvuuksia. SOM-karttoja voidaan esimerkiksi käyttää suodattimena, joilla erotellaan prosessin päätilat (seisokki, ylös- ja alasajot, lajin vaihto, tehoalueet, häiriötilanteet, normaali käynti jne). Mielenkiintoisin prosessin tila saattaa olla esimerkiksi niin sanottua normaalia ajoa kuvaava prosessin tila, joka voidaan erottaa omaksi tarkastelukohteeksi (ks. kuva 4). Prosessitilojen

muodostamisen jälkeen on mahdollista toteuttaa mallinnuksia prosessitilojen sisällä, jolloin voidaan saavuttaa uutta mielenkiintoista tietoa prosessin käyttäytymisestä eri tilanteissa. Kuvassa 5 on esimerkki kartongin laadun (CMT) alimallista laskennallisesti määritetyn prosessitilan sisällä.



**Kuva 4.** Esimerkki laskennallisesta prosessitilojen määrittämisestä itseorganisoituvan kartan (SOM) ja klusteroinnin avulla.



**Kuva 5.** Esimerkki kartongin laadun (CMT) alimallista prosessitilan sisällä.

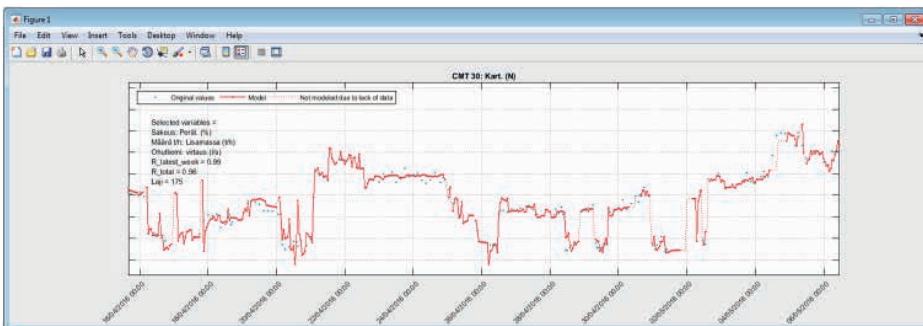


## PROSESSITEOLLISUUDEN VIRTUAALISENSORIT

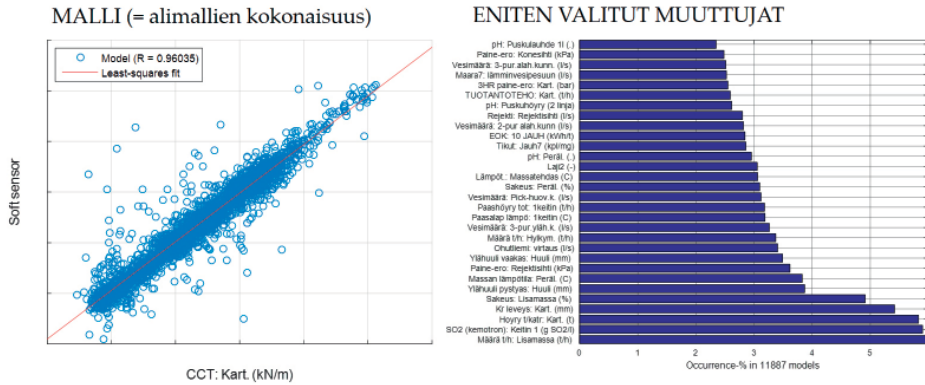
Epäsuorasta, usein muihin mittauksiin ja mallinnukseen perustuvasta havainnointimenetelmästä voidaan käyttää nimitystä virtuaalisenori tai soft sensor (Kadlec et al. 2009). Virtuaalisenorit voivat olla olemassa olevia, hankalia mittauksia kompensoivia tai ennustavia ratkaisuja.

Kuvassa 6 on esimerkki kartongin laatua (CMT) ennakoivasta virtuaalisenoriratkaisusta, joka perustuu edellisessä kappaleessa kuvattuun dynaamiseen mallirakenteeseen. Tässä ratkaisussa on kuitenkin se periaatteellinen ero, että järjestelmä on aidosti ennustava: ennustus tehdään yhden tunnin päähän käyttäen mallia, joka on opetettu aineistolla, joka kattaa ennustettavan hetken edelliset kaksi viikkoa. Mallinnus tehdään uudestaan ennen jokaista ennustusta. Mallissa myös huomioidaan kulloinkin tuotettava kartonkilaji siten, että jokainen opetus tehdään käyttäen ainoastaan kyseiseen kartonkityyppiin liittyvää aineistoa tuolta kahdelta viikolta.

Kuvassa 7 on esitetty yhteenvedo dynaamisen mallin avulla toteutetusta virtuaalisenorista sekä mallinnuksessa valituista muuttujista (mallinnettuna CCT). Mallinnus käsittää lähes 12 000 yksittäisen mallin kokonaisuuden, ja kokonaiskorrelaatio mallien ja mittausten välillä on 0,96. Oikeanpuoleisessa kuvassa on nähtävissä ne muuttujat, jotka ovat tulleet valituiksi eniten menetelmän muuttujanvalintavaiheessa, eli teoriassa ne tekijät, jotka ovat tässä tapauksessa vaikuttaneet kartongin kokonaislaatuun eniten.



**Kuva 6.** Esimerkki dynaamisesti päivittyvään malliin perustuvasta ennustavasta virtuaalisenoriratkaisusta (CMT).



**Kuva 7.** Yhteenveto dynaamisen mallin avulla toteutetusta virtuaalisensorista sekä mallinnuksessa valituista muuttujista (mallinnettuna kartongin laatuparametreista CCT).

## YHTEENVETO

Prosessiteollisuus on perinteisesti ollut suurten tietomassojen hyödyntäjä johtuen siitä, että prosesseihin sisältyy useimmiten paljon mittauksia, joita hyödynnetään muun muassa säädössä ja laaduntarkkailussa esimerkiksi tuotanto- ja laaturaporttien muodossa. Tuotantokoneista, laitteista ja prosesseista kerätään rutiininomaisesti sensoridataa, prosessista riippuen sadoista muuttujista kymmeniin tuhansiin muuttujiin, tiheimmillään millisekuntien välein.

Itse raakadataa kuitenkin harvoin käytetään sellaisenaan, vaan asioita seurataan pääasiassa perinteisesti laadittujen raporttien, keskiarvojen ja muiden tyypistettyjen tunnuslukujen kautta. Raakadatan tehokkaampi hyödyntäminen esimerkiksi monimuuttuja-analyysien avulla auttaisi havaitsemaan yksittäisiä ongelmatilanteita sekä haitallisiin trendeihin johtavia syitä, optimoimaan tuotantonopeutta ja laatua sekä havaitsemaan laatuvirheitä ja niiden selittäviä tekijöitä. Kehittyneen analytiikan kautta tulee mahdollisuus myös reaaliaikaiseen analytiikkaan ja sen avulla poikkeamien ennakointiin. Reaaliaikaista raaka-dataa täydentävät usein monet offline-mittaukset, kuten laboratoriomittaukset, joilla mitataan esimerkiksi lopputuotteen laatua ja joita pitäisi aina tarkkailla suhteessa online-mittauksiin.

Vaikka automatisoiduista prosesseista on saatavilla kosolti mittaustietoa, ei sitä kaikkea voida välttämättä hyödyntää niin sanotusti perinteisin menetelmin. Kun joudutaan käsittelemään esimerkiksi satojen muuttujien kokonaisuuksia, yksikköprosessien välisiä riippuvuuksia ja syy-yhteyksiä tai ilmiöiden välisiä viiveitä ja tapahtumaketjuja, tarvitaan tehokkaita ja laskennallisesti älykkäitä menetelmiä ja lisäksi hyvää asiantuntemusta itse ongelmakentästä. Toisin sanoen on tärkeää pystyä yhdistämään prosessitietämys laskennan avulla saatuihin tuloksiin, jotta välttyään vääriä tulkinnoilta.

Tuotannon diagnostiikan kannalta prosesseissa esiintyvät dynaamisesti muuttuvat tilanteet luovat haasteita, joihin on pyrittävä vastaamaan joko kokonaan uudennlaisilla mittausmenetelmillä tai kehittämällä mittalaitteiden tuottaman datan tiedonjalostusketjua. Mittaus-tiedon laskennallisella käsittelyllä, joka voi sisältää esimerkiksi mallinnusta, saadaan kuva ilmiöistä ja niiden mahdollisista syy-yhteyksistä. Tehokkaita laskentamenetelmiä tarvitaan, jotta käytönaikainen ongelman havainnointi ja luokittelu, tiedonlouhinta ja laaduntarkkailu pystytään tekemään niin tehokkaasti kuin mahdollista.

On myös olemassa kohteita, joista tarvittaisiin mittausta, mutta niiden toteuttaminen ei ole joko teknisesti mahdollista tai taloudellisesti kannattavaa, jolloin voidaan käyttää virtuaalisensoreita eli laskennallisia, epäsuoria mittausmenetelmiä. Uudennlaisilla älykkäillä mittausjärjestelmillä voidaan tuottaa uutta informaatiota itse prosessista ja niitä voidaan käyttää yhdessä mallinnus- ja ohjelmistotyökalujen kanssa vaikkapa uudentyyppisten palvelujen alustana. Älykkäiden järjestelmien edellytyksenä ovat luonnollisesti toimivat mittaukset prosessista.

## LÄHTEET

Aaltopahvi – Käyttäjän käsikirja. Suomen Aaltopahviyhdistys ry. Saatavilla: <http://www.aaltopahvi.fi/tietoja>. Viitattu lähde 28.9.2017.

P. Kadlec, B. Gabrys, S. Strandt, 2009. Data-driven Soft Sensors in the process industry. *Computers and Chemical Engineering*, vol. 33, pp. 795–814.

