



Kaakkois-Suomen  
ammattikorkeakoulu

# METSÄ, YMPÄRISTÖ JA ENERGIA

Soveltavaa tutkimusta ja tuotekehitystä

Vuosijulkaisu 2020

Hanne Soininen & Noora Haatanen  
& Lasse Pulkkinen (toim.)

Hanne Soininen, Noora Haatanen & Lasse Pulkkinen (toim.)

# METSÄ, YMPÄRISTÖ JA ENERGIA

Soveltavaa tutkimusta ja tuotekehitystä

Vuosijulkaisu 2020



**Etelä-Savon  
maakuntaliitto**

**Vipuvoimaa  
EU:lta**  
2014–2020



**Euroopan unioni**  
Euroopan aluekehitysrahasto

XAMK KEHITTÄÄ 131

KAAKKOIS-SUOMEN AMMATTIKORKEAKOULU  
MIKKELI 2020

© Tekijät ja Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu

Kannen kuva: Aki Mykkänen

Taitto ja paino: Grano Oy

ISBN: 978-952-344-294-8 (nid.)

ISBN: 978-952-344-295-5 (PDF)

ISSN: 2489-2467 (nid.)

ISSN: 2489-3102 (verkkajulkaisu)

[julkaisut@xamk.fi](mailto:julkaisut@xamk.fi)

# LUKIJALLE

Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu (Xamk) tuottaa uutta tutkimusta ja menetelmiä sekä kehittää tuotteita ja palveluja alueidensa tarpeisiin. Tutkimus- ja kehittämisorganisaationa Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu tähtää etenkin toiminta-alueensa Kouvolan, Kotkan, Mikkelin ja Savonlinnan seutujen elinvoiman vahvistamiseen. Suuntaviivoja tutkimus- ja kehitystyölle luovat muun muassa maakuntien, alueen yritysten ja Euroopan unionin strategiset tavoitteet. Tutkimusyhteistyötä tehdään yritysten, järjestöjen, julkisyhteisöjen, yliopistojen, ammattikorkeakoulujen ja tutkimuslaitosten kanssa kansallisella ja kansainvälisellä tasolla.

Vuoden 2020 *Metsä, ympäristö ja energia – soveltavaa tutkimusta ja tuotekehitystä* -julkaisu on ennätyskäsittelyn laaja. Alueellisesti tärkeiden bio-, kierto- ja vesitalouden sekä uusien teknologioiden TKI-toimintaa käsittelevien artikkeleiden lisäksi julkaisussa on mukana laaja joukko kansainvälisten tutkimushankkeidemme katsauksia. Alueelliset vahvuutemme alkavat saada näkyvää roolia kansainvälisesti merkittävien haasteiden ratkaisujen tutkimus- ja innovaatiotoiminnassa esimerkiksi ympäristöturvallisuuden ja bioraaka-ainesten älykkään hyödyntämisen aloilla.

Artikkeliteoksen toimittajista tutkimuspäällikkö Hanne Soininen työskentelee Älykäs ja kansainvälinen Etelä-Savo – Mikroista kasvua (MikroX) -hankkeessa. Tätä hanketta rahoittaa Etelä-Savon maakuntaliitto Euroopan aluekehitysrahaston varoin. TKI-asiantuntija Noora Haatanen työskentelee Xamkin Kuitulaboratoriossa, ja tutkimusjohtaja Lasse Pulkkinen on Metsä, ympäristö ja energia -vahvuusalan tutkimusjohtaja. Tekijät kiittävät hankkeiden ja opinnäytetöiden rahoittajia ja yhteistyökumppaneita yhteisen tutkimus- ja kehitystoiminnan mahdollistamisesta.

Mikkelissä 15.12.2020

*Tekijät*

# TEKIJÄT

**KATJA AHOLA**, DI, lehtori

Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu Rakennus- ja energiatekniikan koulutusyksikkö

**ELIAS ALTARRIBA**, TkL, TKI asiantuntija

Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu, Logistiikka ja merenkulku

**TUIJA ARONEN**, metsäbiotekniikan dosentti, johtava tutkija

Luonnonvarakeskus

**KEVIN BEILER**, tohtori

Eberswalde University for Sustainable Development Eberswalde, Germany

**ELMAR BERNHARDT**, ins., testaus- ja suunnittelupäällikkö

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

**ALEKSANDR BRYKHANOV**, TkT, tieteellinen johtaja, osastonjohtaja

Institute for Engineering and Environmental Problems in Agricultural Production, Federal Scientific Agri engineering Centre VIM

**ANNA DUNDERFELT**, tradenomi (ylempi AMK), projektipäällikkö

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

**ANNA ESKOLA**, insinööri (AMK), laboratorioinsinööri

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

**ANNE GANGO**, DI, projektipäällikkö

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

**KIMMO HAAPEA**, KTM, kehityspäällikkö

Mikkelin kehitysyritys Miksei Oy

**NOORA HAATANEN**, DI, projektipäällikkö

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

**KATI JORDAN**, KM, projektiasiantuntija

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

**HENNA-RIIKKA HAIKONEN**, metsätalousinsinööri (AMK), projektitutkija  
Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu, Metsä, ympäristö ja energia -vahvuusala

**ESA HANNUS**, insinööri (AMK), TKI-asiantuntija  
Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu, Digitaalinen talous

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

**TARJA HATAKKA**, FM, geologi  
Geologian tutkimuskeskus

**ELINA HAVIA**, DI, tutkimuspäällikkö  
Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu, Metsä, ympäristö ja energia -vahvuusala

**YRJÖ HILTUNEN**, FT, tutkimuspäällikkö  
Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu, Metsä, ympäristö ja energia -vahvuusala

**MIKKO HOKKANEN**, DI, projektipäällikkö  
Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu, Metsä, ympäristö ja energia -vahvuusala

**EETU HUTTUNEN**, sähkötekniikan kandidaatti, tutkimusapulainen  
Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu, Metsä, ympäristö ja energia -vahvuusala

**SARI HYVÖNEN**, FM, kemisti  
Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu, Metsä, ympäristö ja energia -vahvuusala

**LASSE HÄMÄLÄINEN**, insinööri (AMK), tutkimusinsinööri  
Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu, Metsä, ympäristö ja energia -vahvuusala

**SARI HÄMÄLÄINEN**, insinööri (AMK), kehitysinsinööri  
Mikkelin kaupunki

**JAANA JARVA**, FT, erikoistutkija  
Geologian tutkimuskeskus

**PANU JOUHKIMO**, DI, insinööri (AMK), ohjelmakoordinaattori  
Mikkelin kehitysyritys Miksei Oy

**ARI JÄSBERG**, FT, Senior Scientist  
Teknologian tutkimuskeskus VTT, Kuiturainaprosessit

**MARI KALLIOINEN**, TkT, professori  
Lappeenrannan-Lahden teknillinen yliopisto

**SIMO KARJALAINEN**, DI, Manager  
Andritz Oy

**TEEMU KARTTAAVI**, insinööri (AMK), projektityöntekijä  
Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu, Metsä, ympäristö ja energia -vahvuusala

**JARMO KASKINEN**, insinööri (AMK), projektipäällikkö  
Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu, Metsä, ympäristö ja energia -vahvuusala

**TATU KAUPPI**, FM, projektipäällikkö  
Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu, Metsä, ympäristö ja energia -vahvuusala

**VILI KELLOKUMPU**, TkT, Research Scientist  
Teknologian tutkimuskeskus VTT, Optiset mittaukset

**MATTI KILPIÄINEN**, TaM, projektipäällikkö  
Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu, Metsä, ympäristö ja energia -vahvuusala

**HANNA-KAISA KOPONEN**, FT, tutkimusjohtaja  
Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu, Metsä, ympäristö ja energia -vahvuusala

**JUHA KORPIJÄRVI**, TkT, yliopettaja  
Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu, Sähkö-, talo- ja materiaalitekniikan  
koulutusyksikkö

**MAUNU KUOSA**, TkT, kehitysinsinööri  
Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu, Metsä, ympäristö ja energia -vahvuusala

**EVELIINA KUOKKANEN**, DI, tutkimusinsinööri  
Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu, Metsä, ympäristö ja energia -vahvuusala

**ELENA KUZNETSOVA**, Project Manager  
State Geological Unitary Company «Mineral»

**JUSSI KONTTILA**, insinööri (AMK), tutkimusinsinööri  
Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu, Metsä, ympäristö ja energia -vahvuusala

**RIKU KOPRA**, TkT, TKI-asiantuntija  
Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu, Metsä, ympäristö ja energia -vahvuusala

**ELISA KORHONEN**, insinööri (AMK), tutkimusapulainen

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

**TUIJA KORPELA**, DI, tutkimusinsinööri

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

**LAURA KOSKIKALLIO**, projekti-insinööri

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

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

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

**KARI LAINE**, DI, asiantuntija

Kouvola Innovation Oy

**TERO LAHTELA**, insinööri (AMK), yrittäjä

Insinööritoimisto Lahtela Oy

**NIINA LAURILA**, insinööri (AMK), projektipäällikkö

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

**MARJATTA LEHESVAARA**, FM, lehtori

Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu, Metsätalouden ja ympäristötekniikan koulutusyksikkö

**HANNU LEINONEN**, insinööri, tehtaanjohtaja

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

**PETRI LEIRIVIRTA**, metsätalousteknikko, projektin vastuhenkilö

Ammattiopisto SAMIedu

**RAIMO LILJA**, TkT, kiertotalousasiantuntija

Mikkelin kehitysyritys Miksei Oy

**HENNA LINDQVIST**, teollisen puurakentamisen insinööriopiskelija (AMK), tutkimusapulainen

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

**MARJATTA LOUHI-KULTANEN**, TkT, professori

Aalto-yliopisto



**MARINA MARKOVA**, insinööri (AMK), tutkimusinsinööri

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

**VUOKKO MALK**, FM, projektipäällikkö

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

**VU VAN MANH**, professori

VNU University of Science (VNU-HUS), Vietnam

**HEIKKI MANNINEN**, metsänhoitaja, MMM, lehtori

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

**MELINA MAUNULA**, DI, TKI-asiantuntija

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

**HENRI MONTONEN**, DI, tutkimusinsinööri

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

**AKI MYKKÄNEN**, insinööri AMK, projektipäällikkö

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

**SINIKKA MYNTTINEN**, MMT, projektipäällikkö

Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu, Pienyrityskeskus

**JARKKO MÄNNYNSALO**, DI, lehtori

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

**MIKA MÄNTTÄRI**, TkT, membraanitekniikan professori

Lappeenrannan-Lahden teknillinen yliopisto

**EKATERINA NIKOLSKAYA**, TkT, projektitutkija

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

**KRISTIINA NUOTTIMÄKI**, FM, geologi

Geologian tutkimuskeskus

**MIKKO NYKÄNEN**, DI, TKI-asiantuntija

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

**ALEKSANDR OGLUZDIN**, biologi, ryhmäpäällikkö

Institute for Engineering and Environmental Problems in Agricultural Production, Federal Scientific Agri engineering Centre VIM

**TERO OJANEN**, yo, projektitutkija

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

**MATTI OKKONEN**, DI, Senior Scientist

Teknologian tutkimuskeskus VTT, Optiset mittaukset

**JUHA-PEKKA ONTRONEN**, KTM, projektiasiantuntija

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

**OLLI PAAJANEN**, DI, projektipäällikkö

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

**PASI PAKKALA**, MML, yliopettaja

Metsätalouden ja ympäristötekniikan koulutusyksikkö

**PERTTI PASANEN**, FT, dos., tutkimusjohtaja

Itä-Suomen yliopisto

**ANTTI PAPPINEN**, insinööri (AMK), projektitutkija

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

**LEENA PEKURINEN**, insinööri (YAMK), projektitutkija

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

**KARI PELTONEN**, DI, T&K-johtaja MC-tekniikat

Andritz Oy

**MARKO PIISPA**, laboratorioteknikko

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

**LASSE PULKKINEN**, FT, tutkimusjohtaja

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

**SALLA PULLIAINEN**, insinööri (AMK), projektipäällikkö

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

**KEIJO PYÖRÄLÄ**, DI, Manager, Products and Systems

Liquid measurements at Vaisala

**SHAHLA RADMEHR**, Master of Chemical Engineering, nuorempi tutkija

Lappeenranta-Lahden teknillinen yliopisto

**SIRPA RAHIALA**, TkT, TKI-asiantuntija

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

**JUHO RAJALA**, FT, lehtori

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

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

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

**KIMMO RASA**, MMT, erikoistutkija

Luonnonvarakeskus

**MARKO RASI**, TkT, TKI-asiantuntija

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

**ANTI ROHUMAA**, TkT, projektipäällikkö

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

**LIISA ROUTAHARJU**, insinööri (YAMK), lehtori

Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu, Metsätalouden ja ympäristötekniikan koulutusyksikkö

**VILLE RÄTY**, insinööri, asiantuntija

Kouvola Innovation Oy

**MILLA SAIRANEN**, insinööri (AMK), projektipäällikkö

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

**HANNU SARVELAINEN**, DI, lehtori

Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu, Rakennus- ja energiatekniikan koulutusyksikkö

**JULIA SEPPÄ**, FM, opiskelija

Itä-Suomen yliopisto

**ANITTA SIHVONEN**, KTM, rahoitusjohtaja

Mikkelin kehitysyritys Miksei Oy

**HANNE SOININEN**, TkT, tutkimuspäällikkö

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

**MIKAEL SYKIÄINEN**, teollisen puurakentamisen insinööriopiskelija (AMK),  
tutkimusapulainen  
Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu, Metsä, ympäristö ja energia -vahvuusala

**JUHA TAKKUNEN**, asiantuntija  
Ramboll Finland Oy

**KIRSI TALLINEN**, DI, tutkimuspäällikkö  
Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu, Metsä, ympäristö ja energia -vahvuusala

**TOMMI TENHOLA**, MMM, ympäristötalouden asiantuntija  
Tapio Oy

**MIKKO TIKKINEN**, MMT, tutkija  
Luonnonvarakeskus

**JOUNI TORNBERG**, TkT, TKI-asiantuntija  
Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu, Metsä, ympäristö ja energia -vahvuusala

**ERJA TULINIEMI**, insinööri (AMK), projektipäällikkö  
Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu, Metsä, ympäristö ja energia -vahvuusala

**RIINA TUOMINEN**, insinööri (ylempi AMK), projektipäällikkö  
Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu, Metsä, ympäristö ja energia -vahvuusala

**ELLI TYKKÄ**, insinööri (AMK), laboratorioinsinööri  
Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu, Metsä, ympäristö ja energia -vahvuusala

**TIINA VAINIO-KAILA**, TkT, tutkija  
Teknologian tutkimuskeskus VTT

**ILKKA VANTTAJA**, DI, TKI-asiantuntija  
Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu, Metsä, ympäristö ja energia -vahvuusala

**KIMMO VARIS**, DI, projektipäällikkö  
Stressfield Oy

**SAILA VARIS**, FT, tutkija  
Luonnonvarakeskus

**EDUARD VASILEV**, TkK, vanhempi tutkija

Institute for Engineering and Environmental Problems in Agricultural Production,  
Federal Scientific Agri engineering Centre VIM

**NATALIA VASILEVA**, MMK, tutkija

Institute for Engineering and Environmental Problems in Agricultural Production, F  
ederal Scientific Agri engineering Centre VIM

**MARTTI VENÄLÄINEN**, MMT, erikoistutkija

Luonnonvarakeskus

**JUHA VIHAVAINEN**, insinööri (AMK), tutkimusinsinööri

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

**AKI VOLANEN**, insinööri (AMK), tutkimusinsinööri

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

**KANAKO YAMASHITA**, insinööri (AMK)

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

# SISÄLTÖ

LUKIJALLE.....	3
TEKIJÄT.....	4
ÄLYKÄSTÄ ERIKOISTUMISTA ALUEEN HYÖDYKSI.....	18
Lasse Pulkkinen & Hanna-Kaisa Koponen & Hanne Soininen	
KIERTOTALOUTTA KEHITTÄMÄSSÄ KANSAINVÄLISESTI.....	22
Hanne Soininen & Vuokko Malk & Esa Hannus & Kimmo Haapea & Panu Jouhkimo & Anitta Sihvonen & Raimo Lilja	
JÄTEVESIEN HAITALLISTEN AINEIDEN VÄHENTÄMINEN.....	26
Riina Tuominen & Hanne Soininen & Mari Kallioinen	
JÄTEVESIEN HAITTA-AINEET.....	29
Aki Volanen & Riina Tuominen & Lasse Hämäläinen	
UUDET INNOVATIIVISET MENETELMÄT POHJAVESIEN LAADUN MONITOROINTIIN.....	34
Riina Tuominen & Aki Mykkänen & Marjatta Lehesvaara & Esa Hannus	
YHDYSKUNTIEN JÄTEVEDET BIO- JA KIERTOTALOUDEN RAAKA-AINEEKSI.....	39
Salla Pulliainen & Hanne Soininen & Shahla Radmehr & Mika Mänttari & Mari Kallioinen	
JÄTEVESILIETTEEN SISÄLTÄMÄN MIKROMUOVIN VAIKUTUS LIETTEEN HYÖTYKÄYTTÖÖN.....	43
Jussi Konttila & Salla Pulliainen	
MIKROMUOVIT JÄTEVESILIETTEESSÄ – MENETELMIÄ NÄYTTEENOTTOON JA -KÄSITTELYYN.....	48
Jussi Konttila & Salla Pulliainen	
JÄTEVESILIETTEIDEN KÄSITTELYTEKNIKOIDEN NYKYTILANNE SUOMESSA JA MAAILMALLA.....	52
Jussi Konttila & Salla Pulliainen	
BIOHIILTÄ HYÖDYNTÄVIEN HULE- JA SUOTOVESIEN KÄSITTELY- RATKAISUJEN KÄYTTÖHAVAINNOT SEKÄ MUUTOSTYÖT PILOT-KOHITEISSA.....	60
Aki Mykkänen & Lasse Hämäläinen & Sari Hämäläinen	

BIOHIILEN OMINAISUUKSIEN KARAKTERISOINTI JA OMINAISPINTA-ALAN MITTAAMINEN .....	68
Vuokko Malk & Sari Hyvönen & Noora Haatanen & Kimmo Rasa & Aki Mykkänen & Hanne Soininen	
BIOHIILESTÄ VOIMAA METSITTÄMISEEN JA BIOKAASUN PUHDISTUKSEEN.....	77
Niina Laurila & Hanne Soininen	
ENERGIANTUOTANTOLAITOSTEN PÄÄSTÖMITTAUKSET .....	83
Juha Vihavainen & Niina Laurila	
BAMBUN KÄYTTÖ BIOENERGIAN TUOTANNOSSA .....	89
Kanako Yamashita & Niina Laurila	
TUHKAN YMPÄRISTÖVAIKUTUKSET .....	93
Juha Vihavainen & Riina Tuominen & Tommi Tenhola	
KIERTOTALOUSKOULUTUSTA KAIKILLE.....	100
Salla Pulliainen & Sinikka Mynttinen	
ETÄSEMINAAREILLA KOHTI HIILINEUTRAALIUTTA .....	103
Liisa Routaharju	
AMMATTIKORKEAKOULUJEN VÄLISEN YHTEISTYÖN HYVÄT KÄYTÄNTEEN JA HAASTEET KIERTOTALOUSAMK-HANKKEEN AIKANA.....	107
Juho Rajala & Liisa Routaharju	
VEDEN LAADUN MONITOROINTIA LUGABALT2-HANKKEESSA.....	113
Tuija Ranta-Korhonen & Marina Markova & Aleksandr <i>Brykhanov</i> & Eduard Vasilev & Aleksandr Ogluzdin & Natalia Vasileva	
UIMAVESIEN LAATUKRITEERIT SUOMESSA JA VENÄJÄLLÄ.....	123
Marina Markova & Tuija Ranta-Korhonen	
ENERGIATEHOKKUUDEN LASKEMINEN MAATALOUDESSA .....	131
Elisa Korhonen & Tuija Ranta-Korhonen	
RUSSIAN-FINNISH BIOECONOMY COMPETENCE CENTRE – BIOCUM -HANKKEEN OPETUSMATERIAALI .....	136
Elisa Korhonen & Tuija Ranta-Korhonen	
BIOCUM-HANKKEESEEN LIITTYVÄ SELVITYS SUOMEN MAATALOUDEN ENERGIANKÄYTÖSTÄ .....	141
Elisa Korhonen & Tuija Ranta-Korhonen	
LUOMUTUOTANNON VESISTÖ- JA MAAPERÄVAIKUTUKSET .....	147
Leena Pekurinen & Tuija Ranta-Korhonen	

THE ENVITOX PROJECT PROVIDES NEW INFORMATION ON THE ENVIRONMENTAL IMPACTS OF THE KRASNY BOR TOXIC WASTE LANDFILL.....	154
Vuokko Malk & Jaana Jarva & Tarja Hatakka & Kristiina Nuottimäki & Elena Kuznetsova	
THE FUTURE DEVELOPMENT OF AN ELECTRICITY PRICE STRUCTURE AND THE POSSIBILITIES FOR ADVANCING SOLAR POWER PRODUCTION IN FINNISH SOCIETY.....	158
Juha Korpijärvi	
HOW ELECTRIC PASSENGER CARS IN TRAFFIC USE ARE SUBSIDISED IN FINLAND.....	168
Jarmo Kaskinen	
OVERALL PLAN FOR EV CHARGING INFRASTRUCTURE BETWEEN ST. PETERSBURG AND KOTKA ALONG THE E18 HIGHWAY .....	176
Leena Pekurinen	
OHJENUORAT TYÖTURVALLISUUDEN KEHITTÄMISEEN RAKENNUSALAN PK-YRITYSTEN YLIMMÄLLE JOHDOLLE .....	184
Milla Sairanen & Henna-Riikka Haikonen	
PUHDAS PUUPINTA.....	190
Olli Paajanen & Anti Rohumaa & Anni Harju & Juha Takkunen & Julia Seppä & Pertti Pasanen & Tiina Vainio-Kaila & Martti Venäläinen	
PUUHUOLTOYRITYSTEN TYÖMENETELMIEN TEHOSTAMINEN LEAN-FILOSOFIAN AVULLA.....	200
Anna Dunderfelt & Heikki Manninen & Petri Leirivirta	
KONSEPTISUUNNITTELU PUURAKENTAMISEN TYÖKALUNA.....	206
Matti Kilpiäinen	
TUOTANNON SIMULOINTI JA VISUALISOINTI.....	216
Mikko Hokkanen & Kimmo Haapea	
EXPERIENCES ON QUALITY ASSURANCE IN ERASMUS+ -PROJECT BIOECON.....	224
Pasi Pakkala & Vu Van Manh & Kevin Beiler	
FLOKKIEN KUVAAMISESTA UUSI ONLINE-MONITOROINTIMENETELMÄ JUOMAVEDEN VALMISTUSPROSESSIIN PINTAVEDESTÄ.....	238
Tatu Kauppi & Tero Ojanen & Yrjö Hiltunen	
FLOKKIEN OMINAISUUKSIEN VAIKUTUS FLOKKULAATIOPROSESSIN TOIMIVUUTEEN .....	243
Tatu Kauppi & Tero Ojanen & Yrjö Hiltunen	



REFRAKTOMETRIN HYÖDYNTÄMINEN PESULINJAN OPTIMOINNISSA.....	249
Riku Kopra & Simo Karjalainen & Keijo Pyörälä	
UUSIEN KUITUTUOTTEIDEN TUTKIMUS JA SITÄ TUKEVAT INVESTOINNIT KUITULABORATORIOSSA .....	257
Noora Haatanen	
ETÄOPETUSKURSSIA RAKENTAMASSA BIOTALOUDEN INNOVAATIOHANKKEEN YMPÄRILLE.....	264
Noora Haatanen & Kati Jordan & Jarkko Männynsalo & Juha-Pekka Ontronen & Marjatta Louhi-Kultanen	
LABORATORIOKOKOET KUPLANMUODOSTUKSESTA, AINEENSIIRROSTA JA NÄIDEN MERKITYKSESTÄ HAPPIDELIGNIFIOINNISSA.....	273
Antti Pappinen & Jari Käyhkö	
PURISTUSJAUHATUSKEHITYS SEKÄ KUIDUN SISÄISEN FIBRILLAATION NMR-ONLINE-MITTAUS.....	280
Jari Käyhkö & Ekaterina Nikolskaya & Yrjö Hiltunen	
KUHA-HANKE – UUTTA POTKUA KAASUJEN KÄYTTÖÖN JA HALLINTAAN KUITULINJALLA .....	287
Jari Käyhkö & Riku Kopra & Marko Rasi & Kari Peltonen	
METSÄPUIDEN KASVULLISEN LISÄYKSEN LABORATORIO OSAKSI MAAKUNNAN INNOVAATIOTOIMINTAA.....	294
Lasse Pulkkinen & Mikko Tikkinen & Tuija Aronen	
HAVUPUUALKIOIDEN AUTOMATISOITU LAJITTELU JA KOULINTA.....	301
Elmar Bernhardt & Elina Havia & Hannu Leinonen & Henri Montonen & Mikko Tikkinen & Saila Varis	
3D-TULOSTUKSELLE ENERGIATEHOKKAITA RATKAISUJA ELEKTRONIIKKAAN .....	304
Eetu Huttunen & Mikko T. Nykänen & Ilkka Vanttaja	
CLT-RAKENTEISEN PILARI-LAATAN FEM-LASKENTA JA PILOTOINTI .....	314
Mikael Sykiäinen & Henna Lindqvist & Tero Lahtela & Kimmo Varis	
BIOGROWTH – IMAGING TECHNOLOGY ROADMAP .....	323
Jouni Tornberg & Lasse Pulkkinen & Matti Okkonen & Vili Kellokumpu & Ari Jäsberg	
AKKREDITOIDUN TESTAUSTOIMINNAN VAIKUTUS JOKAPÄIVÄISEEN ARKEEN .....	334
Hanna-Kaisa Koponen & Anna Eskola & Sirpa Rahiala	

BIOTALOUDEN PITKÄ HISTORIA KYMENLAAKSOSSA LUO VAHVAN POHJAN RAKENTAA TULEVAISUUTTA .....	342
Kirsi Tallinen & Kari Laine	
HIONNETUN BIOLENTOTUHKAN HYÖDYNTÄMINEN BETONISSA – TULOKSIA HITU-HANKKEESTA.....	352
Eveliina Kuokkanen & Anne Gango	
PARTIKKELIKOON JA -KOKOJAKAUMAN MÄÄRITYKSET BIOSAMMOSSA, ESIMERKKINÄ TIILI.....	360
Eveliina Kuokkanen & Teemu Karttaavi	
KIERTOTALOUDEN OSAAMISKESKUS 2030: MIELIKUVITUKSEN SIIVIN TULEVAISUUDEN YRITYSTARINOIHIN HYÖTYVIRTA-ALUEELLA!.....	365
Ville Rätty & Melina Maunula	
RAKENTAMISEN KIERTOTALOUDEN HUOMIOIMINEN XAMKIN UUDEN KAMPUKSEN HANKESUUNNITTELUSSA YHDESSÄ OPISKELIJOIDEN KANSSA .....	375
Katja Ahola	
HUKKALÄMPÖKARTOITUS JA HYÖDYNTÄMISTEKNIIKAT KYMENLAAKSOSSA.....	383
Erja Tuliniemi & Tuija Korpela & Maunu Kuosa & Hannu Sarvelainen	
PURKUKATSELMOINNISTA UUTTA LIIKETOIMINTAA.....	392
Elli Tykkä & Laura Koskikallio & Katja Ahola	
PUHTAAMMAN MERILIIKENTEEN MAHDOLLISUUDET .....	401
Sirpa Rahiala & Elias Altarriba & Marko Piispa	

# ÄLYKÄSTÄ ERIKOISTUMISTA ALUEEN HYÖDYKSI

Lasse Pulkkinen & Hanna-Kaisa Koponen & Hanne Soininen

Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu Xamkin Metsä, ympäristö ja energia -vahvuusalan TKI-toiminta on vuonna 2020 jatkunut aktiivisena. Vahvuusalan kärkiä uudistettiin, ja esimerkiksi kiertotalouden ratkaisut ja puurakentamisen osaaminen nostettiin näkyväksi osaksi soveltavaa tutkimusta ja yritysysteistyötä. Kuitutuotteiden ja prosessien sekä uusiutuvien energijärjestelmien tutkimustoiminta on jatkunut vahvana myös vuoden 2020 TKI-toiminnassa. Veteen sekä biotalouden sivuvirtoihin keskittynyt tutkimustoimintamme on ollut monipuolista, ja myös näiden alojen tutkimusinfrastruktuuriin ja uudistuneisiin menetelmiin saadaan tässä julkaisussa mielenkiintoiset katsaukset.

Etelä-Savossa Xamkin TKI-toimintaa alalla tekee vahvuusalan tutkimusryhmä ja Mikopolis-tutkimusyksikkö Mikkeliissä sekä Kuitulaboratorio ja Elektroniikan 3K-tehdas Savonlinnassa. Kymenlaaksossa toimii alalla kasvava tutkimusryhmä sekä tunnetut Kymilabs- ja BioSampo-tutkimusyksiköt. Vahva alueellinen toiminta ja yritysysteistyö on edelleen toimintamme näkyvin osa. Laboratorioissamme sekä pilot-ympäristöissämme tehdyn kehitystyön rinnalla alueen ja sen eri toimijoiden mahdollistamat ja lähes todellista mittakaavaa vastaavat demonstroinnit ja mittaukset ovat olleet vahvasti mukana TKI-toiminnassamme myös tämän vuoden aikana.

## YMPÄRISTÖTURVALLISUUTTA EDISTÄMÄSSÄ MIKKELIN KAMPUKSELLA

Xamkin Mikkelin ympäristöturvallisuuden tutkimusryhmä edistää muun muassa vesistöjen puhtautta ja ravinteiden suljettua kiertoa luomalla tutkimuksen avulla uusia keinoja vesistöön kohdistuvien riskien ennakointiin yhdessä alueellisten, kansallisten ja kansainvälisten yhteistyökumppaneidemme kanssa. Mikkeliissä on käynnissä yritysten, kuntien ja tutkimuslaitosten kanssa yli 20 ympäristöturvallisuuteen, bio-, vesi- ja kiertotalouteen liittyvää tutkimusprojektia, joista yhdeksän on kansainvälisiä hankkeita. Tutkimustoimintaa on mahdollistamassa ympäristötekniikan koulutusohjelma, ympäristölaboratorio.

Vuosijulkaisussa on esillä laajasti artikkeleita Mikkeliissä toteutettavista ympäristöturvallisuuden alueellisista, kansallisista ja kansainvälisistä hankkeista. Mikkeliissä TKI-työtä tehdään sekä Euroopan unionin rahoituksella että kansallisella ja yksityisellä rahoituksella. Päärahoittajia ovat muun muassa EU:n rakennerahastot, Horizon, EU:n rajat ylittävä yhteistyöohjelma (CBC 2014–2020), Suomen Akatemia, säätiöt, ministeriöt, yritykset ja muut organisaatiot. Alla muutama esimerkki käynnissä olevista hankkeista.

Kiertotalouden edistämiseksi on käynnissä merkittävä kansainvälinen CityLoops - Closing the loop for urban material flows -tutkimushanke (EU Horizon 2020 grant agreement No. 821033), jossa yhteistyössä Mikkelin kehitysyritys Miksei Oy:n kanssa tehostetaan Mikkelin kaupungin kiertotalouden keskittymän, EcoSairilan, kehittämistä ja kansainvälistymistä. Kansainvälisestä yhteistyöstä on hyvä esimerkki myös LugaBalt2 - Safe Environment and Cleaner Waterways to Blue Baltic Sea -hanke, jossa edistetään vesistöjen tilaa. Hanke saa rahoitusta Kaakkois-Suomi – Venäjä CBC 2014–2020 -ohjelmasta.

Käynnissä on myös useampi kansallinen hanke, joista muun muassa ympäristöministeriön vesiensuojelun tehostamisohjelmasta rahoitetussa Vemo-kokonaisuudessa tehdään yhteistyötä LUT-yliopiston kanssa jätevesien haitallisten aineiden vähentämiseksi monitorointia tehostamalla.

Yhteistyössä Metsäsairila Oy:n kanssa on käynnistynyt loppuvuodesta BioCir- ja BioLuuppi-hankekokonaisuus, jossa rakentuu uudenlainen demonstraatioympäristö biokaasualan toimijoille. Ympäristö vahvistaa tulevaisuudessa myös kansainvälisen yhteistyön mahdollisuuksia EcoSairilassa. Kokonaisuuden päärahoittaja on Etelä-Savon ELY-keskus Euroopan aluekehitysrahastosta.

## ALUEELLISTA JA KANSAINVÄLISTÄ VAIKUTTAMISTA

Teollisen biojalostuksen sekä toisaalta yhdyskuntien ympäristö- ja kiertotaloushaasteiden teknistaloudellisten ratkaisujen saralla Xamk on saavuttanut myös merkittäviä kansainvälisiä uusia avauksia. Osaamisemme on nyt tärkeä osa EU:n Horizon 2020 -hankkeiden toimintaa, mistä esimerkkinä tässä koostejulkaisussa käsitellään muun muassa IMPRESS-hanketta (EU Horizon 2020 grant agreement No. 869993), jossa Kuitulaboratorio ja Xamkin Biotuotetekniikan opetus tekevät yhteistyötä. Projekti, jossa ruuaksi kelpaamattomasta bioraaka-aineesta prosessoidaan biokemikaaleja ja materiaaleja, on samalla tärkeä avaus Xamkin yhteistyölle alan johtavien eurooppalaisten yritysten kanssa. Samalla tuodaan esille Xamkin vahvan alan TKI-toiminnan sekä Biotuotetekniikan opetuksen yhdistämistä kansainvälisen tason kehitystoiminnaksi.

Kansallisella ja alueellisella tasolla TKI:n ja opetuksen yhteistyönä on panostettu merkittävästi kiertotalouden osaamisen ja koulutusten uudistamiseen, mistä myös kerrotaan tässä julkaisussa. Osaamisen siirto ja ympäristöturvallisuuden koulutus on tärkeässä roolissa myös Xamkin Venäjä-hankeissa. Uusiutuvan energian ja älykkäiden sähköverkkojen vertailut Suomen ja Venäjän toimintaympäristöissä ovat myös mielenkiintoista luettavaa ja tarjoavat näkymää Venäjän energiajärjestelmien muutokselle erityisesti Pietarin alueella.

Erityisen vahvaa Xamkin TKI-toiminnan kansainvälinen yhteistyö onkin ollut venäläisten kumppaneiden kanssa ENI-CBC-ohjelman osana. Näistä kansainvälisistä yhteistyöhank-

keista julkaisussa on monipuoliset koosteet erityisesti ympäristötekniikan ja ympäristöturvallisuuden näkökulmista. Metsäalan uutta osaamista ja koulutussisältöjä on Xamkissa kehitetty edistämällä maakunnallisesti lean-johtamismenetelmien tuomista puunkorjuualan yrityksille sekä viemällä kestävä metsätalouden osaamista Etelä-Savosta Vietnamiin alan yhteistyökumppaneille.

## UUSIA TEKNOLOGIOITA METSÄBIOTALOUTEEN JA PUURAKENTAMISEEN

Savonlinnassa toimivan Xamkin Kuitulaboratorion näkökulmasta julkaisussa tulevat vahvasti esille korkean teknologian ja erityisesti kuvantavien mittausteknologioiden sovellukset ja hyödyt tutkimuksessa ja prosessien tehokkuuden parantamisessa. Metsäbiojalostamojen prosessitutkimusten lisäksi näitä korkean teknologian menetelmiä sovelletaan myös vesiprosessien tehostamiseen, ja lisäksi uusien teknologioiden mahdollisuuksia sekä osaamisalan yhteistyötä kuvataan VTT:n kanssa tehdyn kuvantamisteknologioiden tiekarttaa käsittelevässä artikkelissa. Uusimmat teknologiat luovatkin Suomen vahvoille teollisuuden aloille mahdollisuuksia, joiden hyödyntämisessä riittää vielä paljon työtä.

Julkaisussa näkyy vahvan prosessiosaamisen lisäksi Xamk Kuitulaboratorion vahva panostus uusiutuvien kuitutuotteiden tutkimus- ja kehitystoimintaan. Opetus- ja kulttuuriministeriön rahoittamassa AMK-Lippulaivahankkeessa on onnistuttu merkittävästi vahvistamaan Xamkin TKI-toiminnan edellytyksiä ja laitteistoja ekotoksisuuden, biohiilitutkimuksen, jätevesitutkimuksen sekä kuituprosessien alalla. Yritysyhteistyön ohella näiden tutkimusalojen kehittämiseen ja soveltamiseen liittyy vahvistuvaa yhteistyötä Suomessa toimivien tutkimuslaitosten kanssa, mistä erinomaisena esimerkkinä on yhteistyö Luonnonvarakeskuksen biohiilitutkimuksen kanssa.

Xamkin yhteistyö Luonnonvarakeskus Luken kanssa on edennyt vuoden 2019 aikana merkittävästi metsäbiotalouden alalla. Xamkin elektroniikan 3K-tehtaan ja Luken yhteistyössä kehittämä robottitekniikka metsänjalostuksen tehostamiseen on loistava esimerkki maakunnallisesta metsäalan kärkiosaamisesta. Xamkin 3K-tehdas on lisäksi yhdistämässä mielenkiintoisella tavalla teollisen 3D-tulostuksen ja puumateriaalien sekä selluloosajohdannain käyttöä muovina korvaavana materiaalina AMAP-hankekokonaisuudessa.

Puurakentamisen alalla Xamkin kannalta merkittäviä vuoden 2019 toiminnassa ovat olleet erityisesti ympäristöministeriön puurakentamisen ohjelman osana toteutetut projektit. Puhdas Puu -projektin katsauksessa esitellään puun antibakteeristen ominaisuuksien tutkimusta ja hyödyntämistä rakentamisen näkökulmasta. Myös tämän projektin toteutustapa, jossa Xamk, Luke sekä Itä-Suomen yliopisto ovat kukin erikoisvahvuuksillaan mukana puumateriaalitutkimuksessa, on hyvä esimerkki verkostoituneesta tutkimusyhteistyöstä. Puurakentamisen erikoisosaamista esitellään CLT-pilari-laatan FEM-mallinnusta sekä konseptisuunnittelua puurakentamisessa käsittelevissä artikkeleissa.

## KIERTOTALOUSHUOMIEN PROSESSOINTIA JA HUKKALÄMPÖJEN HYÖDYNTÄMISTÄ

Kiertotalouden toteutuminen käytännössä vaatii paljon osaamista sekä ratkaisuja liittyen paitsi materiaalien prosessointiin myös niiden saatavuuden varmistamiseen. Uuden osaamisen myötä syntyy uusia liiketoimintamahdollisuuksia ja liiketoimintamalleja useille teollisuudenaloille, kuten rakentamisen ympärille. Sekä tunnistetut purkukohteet että materiaalia hyödyntävät uudisrakennuskohteet ja näiden linkittäminen muodostavat rakentamisen kiertotalouden toimintaympäristön. Kotkan kantasatamaan valmistuu RTS-ympäristöluokituksestaan täyden viiden tähden kampus Xamkille vuonna 2023. Ekologisesti kestävien ratkaisujen toteuttamiseen liittyen on kartoitettu mahdollisuuksia hyödyntää kiertotalousmateriaaleja myös modernin kampuksen rakentamisessa. Valittaessa uusiomateriaaleista tehtyjä tuotteita uudisrakennusten ratkaisuksi olennaista on purkumateriaalien puhtauden määrittäminen, kemikaalien jäljitettävyyden ja mahdollisten haitta-aineiden analysointi. Tästä syystä purkukatselmuksista on syntyneessä uutta liiketoimintaa rakennusmateriaalien uudelleenkäytön mahdollistamiseksi.

Kiertotalousmateriaalien prosessointi on edellytys niiden hyödynnettävyydelle. Mikronisoinnissa materiaalit hienonnetaan mikrometrimitä suuremman kasvattaen samalla niiden ominaispinta-alaa ja useissa tapauksissa myös reaktiivisuutta. HITU- ja BIOKE-hankkeet keskittyvät materiaalien hienontamiseen ja sen avulla saavutettaviin materiaaliominaisuuksiin sekä uusiin tuotesovelluksiin. Kiertotalousmateriaalien hyödyntämisen lisääntyessä akkreditoitujen testausmenetelmien merkitys kasvaa entisestään, jotta voidaan varmistua tuotesovellusten turvallisuudesta ja käytettävyydestä sekä tuotantolaitosten päästöraja-arvojen saavuttamisesta. Poikkiteollisen kehityksen varmistamiseksi kiertotalouden osaamiskeskus Koskes kokoaa tulevaisuudessa yhteen kiertotalouden käytännön toteuttamisesta kiinnostuneet yritykset ja TKI-toimijat.

Kiertotalouden edistäminen on yksi polku hiilineutraalin yhteiskunnan tavoittelussa, ja toinen on energiatehokkuuden ja erityisesti hukkalämmön hyötykäytön lisääminen. Hukkalämpöä syntyy erityisesti teollisuudessa, mutta merkittäviä määriä myös asuin- ja julkisissa kiinteistöissä. Hukkalämmön hyödyntämisen kehittämisessä askelmerkit etenevät seuraavasti: hukkalämpöpotentiaalinen kartoittaminen, käytännön mittauksen toteuttaminen laskelmien tueksi sekä käytännön pilotoinnit lämmön talteenottoon ja hyödyntämiseen liittyen.

Kokonaisuutena julkaisu toivottavasti antaa lukijoilleen virikkeitä tuotetun tiedon hyödyntämiseen entistä kestävämpien teknologiaratkaisujen tuottamiseksi alueen ja laajemmin yhteiskunnan hyödyksi. Lisäksi se antaa virikkeitä ja kasvattaa entisestään innostusta tulokselliseen innovaatioyhteistyöhön alueellisesti, kansallisesti ja kansainvälisesti.

# KIERTOTALOUTTA KEHITTÄMÄSSÄ KANSAINVÄLISESTI

Hanne Soininen & Vuokko Malk & Esa Hannus & Kimmo Haapea  
& Panu Jouhkimo & Anitta Sihvonen & Raimo Lilja

Mikkeli on mukana kansainvälisessä kaupunkien kiertotalouden haasteita ratkovassa CityLoops – Closing the loop for urban material flows -hankkeessa, johon osallistuu kumppaneita seitsemästä EU-maasta (kuva 1). Mikkeliissä toteutuksesta vastaavat Mikkelin kehitysyhtiö Miksei Oy ja Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu Xamk. CityLoops-hanke alkoi 1.10.2019, ja se päättyy 30.9.2023. Euroopan laajuisessa hankkeessa on Suomen lisäksi 28 partneria Saksasta, Tanskasta, Norjasta, Hollannista, Espanjasta ja Portugalista. Mikkelin lisäksi demonstraatioita toteutetaan Kööpenhaminan, Bodön, Apeldoornin, Sevillan ja Porton alueilla. Hanketta koordinoi saksalainen ICLEI – Local Government for Sustainability, ja se saa rahoitusta kansainvälisestä tavoitellusta EU:n Horisontti 2020 tutkimus- ja innovaatio-ohjelmasta (Grant Agreement No. 821033).



**KUVA 1.** Mikkeli on mukana kansainvälisessä kiertotalouden kärkihankkeessa (kuva Manu Eloaho).

## MIKKELI MUKANA KIERTOTALOUDEN DEMONSTRAATIOISSA

CityLoops-hankkeen tavoitteena on tarjota kiertotalouden testattu edistämismalli, jota muut paikallis- ja aluehallinnot ympäri Eurooppaa voivat seurata. Mikkeliissä toteutetaan seuraavan kolmen vuoden aikana rakennus- ja purkujätteitä sekä orgaanista jätettä koskevia demonstraatioita. Rakennus- ja purkujäte muodostaa määrällisesti suurimman osan Euroopan jätteistä. Orgaanista jätettä Euroopan unioni tuottaa vuosittain noin 130 miljoonaa

tonnia, ja määrän ennustetaan lisääntyvän keskimäärin kymmenellä prosentilla vuoteen 2020 mennessä. Orgaaninen jäte muodostuu kiinteän yhdyskuntajätteen orgaanisista osista ja kaupallisista lähteistä ja julkisista tiloista peräisin olevasta orgaanisesta jätteestä.

## TAVOITTEENA UUTTA LIIKETOIMINTAA

Mikkelin rakennus- ja purkujätteen demonstraation aikana Miksei kehittää purkukohteiden materiaalien, rakenteiden ja kalusteiden hyödyntämistä nettipohjaisen markkinapaikan avulla. Metatavu Oy Mikkelistä on valittu suunnittelemaan ja toteuttamaan digitaalista markkinapaikkaa Mikkelin seudulla syntyvälle rakennus- ja purkujätteelle sekä purettavista rakennuksista tarpeettomaksi jäävälle irtaimistolle. Nyt tehtävää verkkokauppaa testataan ensi keväänä kahden purettavan kiinteistön irtaimiston ja purkujätteen kierrätyksessä. Kiinteistöt omistaa Mikkelin kaupunki. Testausvaiheessa kauppapaikassa myyjinä toimivat lähinnä Uutta Elämää ja Metsäsairila Oy ja ostajina yritykset ja muut organisaatiot. Tavoitteena on, että pian testivaiheen jälkeen myös kotitaloudet voivat ostaa ja myydä materiaaleja ja irtaimistoa kauppapaikasta.

Materiaalimäärien arviointia ja purkutyön suunnittelua parannetaan Xamkin drooniavusteisen kartoituksen avulla. Keskeisenä tehtävänä on tukea purkamiseen ja purkumateriaalien hyödyntämiseen liittyvän liiketoiminnan kehittymistä Mikkelin seudulle. Demonstraatio-kohteita tulevat olemaan Mikkelissä lähitulevaisuudessa purettavat Pankalammen terveysasema (kuva 2) ja Tuukkalan sairaala.



**KUVA 2.** Droonikuvausta hyödynnetään purettavien rakennusten materiaalivirtojen seurannassa (kuva Esa Hannus).



## BIOJÄTTEEN KIERTOTALOUTTA EDISTÄVIÄ KOKEILUJA

Orgaanisen jätteen demonstraatiokokeilla halutaan tehostaa biojätteen lajittelua Mikkelissä ja vähentää sekajätteeseen päätyvän biojätteen määrää. Mikkelissä sekajätteen joukossa on edelleen noin 30 prosenttia biojätettä. Tulevaisuudessa yhä suurempi osa biojätteestä halutaan erilliskerätä ja tuotteistaa biokaasuksi ja mullaksi.

Mikalo Oy osallistuu CityLoops-hankkeeseen kokeilukohteena. Biojätteen lajittelun tehostamista testataan Peitsarin alueella Mikalo Oy:n kerrostaloissa. Sekajätteen ja erilliskerätyn biojätteen määrää ja laatua seurataan kokeilun aikana.

Hankkeessa tutkitaan myös orgaanisen jätteen käsittelyä biokaasukokein laboratorio- ja pilot-mittakaavassa Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulun ympäristölaboratoriossa (kuva 3). Kokeiden tavoitteena on tukea uuden biokaasulaitoksen toimintaa Mikkelissä.

## KANSAINVÄLISTÄ KASVUA

Saatu rahoitus tukee Mikkelin kaupungin kiertotalouden keskittymän, EcoSairilan, kehittämistä ja kansainvälistymistä. Kansainvälisellä yhteistyöllä luodaan uusia toimintatapoja rakennusjätteen ja orgaanisen jätteen kierrätykseen ja hyödyntämiseen taloudellisesti kestävin menetelmin. Saadun rahoituksen myötä Mikkelin on mukana eurooppalaisessa kehittämistyössä. Tämä parantaa Mikkelin asemaa kansainvälisesti kilpaillun rahoituksen haussa myös jatkossa. Euroopan komissio suuntaa entistä enemmän rahoitusta ympäristön tilaa parantaviin toimenpiteisiin ja kokeiluihin, joita tehdään yhteistyössä tutkimuslaitosten ja yritysten kanssa.



**KUVA 3.** Biokaasukokeita tehdään Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulun ympäristölaboratoriossa (kuva Manu Eloaho).

# JÄTEVESIEN HAITALLISTEN AINEIDEN VÄHENTÄMINEN

Riina Tuominen & Hanne Soininen & Mari Kallioinen

Jäteveeten päässeet haitta-aineet kulkeutuvat jätevedenpuhdistamoille ja sieltä lopulta ympäristöön puhdistusprosessien jälkeen. Vaikka puhdistusprosessit ovat tehokkaita, ei kaikkia haitta-aineita saada poistettua jätevesistä, ja niitä päätyy vastaanottaviin vesistöihin. Haitta-aineiden päästölähteitä kartoittamalla saadaan selville päästölähteistä tulevat haitta-aineet ja niiden pitoisuudet. Näin haitta-aineiden poistoon voidaan keskittyä jo päästölähteessä ja siten vähentää haitta-aineiden määrää kunnallisilla jätevedenpuhdistamoilla.

Vemo – Kaupunkien jätevesien haitallisten aineiden vähentäminen monitorointia tehostamalla -hankkeessa vähennetään haitallisten aineiden pääsyä jätevesiin. Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulun ja LUT-yliopiston yhteishankkeessa kartoitetaan haitallisten aineiden päästölähteitä ja viemärivereden laatua case-kohdealueilla Mikkelin kaupungissa. Lisäksi selvitetään erityisjätevesille soveltuvien uusien, erillisten käsittelyprosessien vaikuttavuutta sekä pilotoidaan niitä. Ympäristöministeriö on rahoittanut hanketta 280 000 eurolla vesiensuojelun tehostamisohjelmasta ([www.ym.fi/vedenvuoro](http://www.ym.fi/vedenvuoro)).

## HAITTA-AINEIDEN KARTOITUS PÄÄSTÖLÄHTEITTÄIN

Vemo-hankkeessa kartoitetaan ja tunnistetaan viemäriverkoston päätyviä haitallisia aineita, kuten raskasmetallit, lääkejäämät ja mikromuovit. Tavoitteena on selvittää jäteveden haitta-aineiden merkittävimmät päästölähteet Mikkelin kaupunkialueella. Päästölähteistä kartoitetaan muun muassa terveydenhuoltolaitokset, huoltoasemat, pesulat, elintarviketeollisuus, teollisuus, jätehuolto ja asutus. Merkittävä osa päästöistä muodostuu hajakuormituksena erilaisista lähteistä, kuten tuotteista ja materiaaleista, joita käyttävät kotitaloudet, julkiset toimijat ja yritykset. Useat tunnistetuista haitallisista aineista päätyvät jätevesiin ja siten vesiympäristöön kuluttajatuotteiden arkikäytöstä.

Hankkeessa valittujen esimerkkialueiden osalta kartoitetaan viemäriverkoston haitta-aineiden päästölähteitä ja arvioidaan eri päästölähteistä syntyvän vuotuisen haitta-ainekuormituksen määrää. Kohteet myös visualisoidaan paikkatietosovelluksessa.

## HAITTA-AINEIDEN KULKEUTUMISEN SELVITTÄMINEN

Jätevedestä selvitetään esimerkkikohteittain löytyviä haitta-aineita ja niiden pitoisuuksia. Selvitystä varten kerätään tarvittavia taustatietoja kartoittamalla haitta-aineiden esiintyvyyttä kohteiden ympäristössä avoimen ympäristötiedon, jätevedenpuhdistamon seurantatiedon, aiempien tutkimushankkeiden ja valikoitujen näytteenottojen avulla.

Haitta-aineiden havainnoinnissa käytetään apuna esimerkiksi online-monitorointia, jolla voidaan selvittää muun muassa jäteveden raskasmetallipitoisuuksia. Online-monitorointi tarjoaa mahdollisuuden haitta-aineiden seurantakustannusten pienentämiseen sekä vähentää monimutkaisten laboratorioanalyysien tarvetta.

## ERITYISJÄTEVESIEN KÄSITTELYPROSESSIEN SELVITTÄMINEN JA PILOTOINTI

Erityisjätevesien, kuten raskasmetalleja, lääkettäjämiä ja mikromuoveja sisältävien jätevesien, käsittelyyn soveltuvien menetelmien käytettävyyttä selvitetään, jotta haitta-aineiden poistoa saataisiin tehostettua jo jätevesien päästölähteillä. Tutkimuksen keskiössä ovat membraanitekniikka ja adsorptiomenetelmät sekä niitä yhdistävät prosessit.

Haitta-aineryhmäkohtaisesti valitaan yksi tai useampi potentiaalinen menetelmä, joita pilotoidaan. Testauksessa käytetään todellisia jätevesiä, joita kerätään esimerkiksi sairaaloilta ja pesuloilta. Menetelmien tehokkuutta seurataan analysoimalla valittujen haitta-aineiden pitoisuuksia käsittelemättömässä ja käsitellyssä jätevedessä. Koska tutkittavat haitta-aineet voivat esiintyä jätevesissä ja ympäristössä hyvin pieninä pitoisuuksina, valittujen määrittäytapojen tulee olla riittävän herkkiä, mutta kuitenkin nopeita ja yksinkertaisia käyttää.

## KEINOT HAITALLISTEN AINEIDEN VÄHENTÄMISEEN

Viemäriverkostoon päässeet haitalliset aineet päätyvät jätevedenpuhdistamolle (kuva 1), ja niiden jäämiä päätyy myös vesistöihin. Jätevesien haitallisia aineita pyritään vähentämään päästölähteiden selvittämisellä, räätälöidyillä puhdistusprosesseilla sekä ohjeistuksella. Ohjeistus eri haitta-aineiden käsittelystä sekä korvaavista ratkaisuista ja menetelmistä on valmistuttuaan vapaasti kaikkien toimijoiden käytössä. Haitallisten aineiden vähentäminen jätevesissä edistää jätevesien kustannustehokkaampaa hallintaa ja vesien hyvän tilan saavuttamista. Jokainen voi osaltaan vaikuttaa jätevesien haitallisten aineiden vähentämiseen, nyt on veden vuoro!



**KUVA 1.** Jätevesien haitalliset aineet päätyvät jätevedenpuhdistamolle (kuva Manu Eloaho).

# JÄTEVESIEN HAITTA-AINEET

Aki Volanen & Riina Tuominen & Lasse Hämäläinen

Perinteiset jätevedenkäsittelyprosessit on suunniteltu poistamaan jätevesistä lähinnä ravinteita ja kiintoainesta. Jätevesi sisältää kuitenkin myös erilaisia haitta-aineita, jotka kulkeutuvat jätevesien mukana jätevedenpuhdistamoille ja edelleen ympäristöön. Haitta-aineiden poistuminen puhdistusprosesseissa voi vaihdella suuresti yhdisteiden ominaisuuksista ja käsittelymenetelmästä riippuen. Haitta-aineiden poistumistehokkuutta ei yleensä seurata säännöllisesti.

Vemo – Kaupunkien jätevesien haitallisten aineiden vähentäminen monitorointia tehostamalla -hankkeen tavoitteena on ennaltaehkäistä haitallisten aineiden pääsyä jätevesiin. Hankkeessa kartoitetaan haitallisten aineiden päästölähteitä ja viemäriveden laatua case-kohdealueilla Mikkelin kaupungissa. Hanke alkoi vuoden 2020 alussa ja kestää vuoden 2021 loppuun. Hanketta toteuttavat Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu ja LUT-yliopisto, ja sitä rahoittaa ympäristöministeriö vesiensuojelun tehostamisohjelmasta ([www.ym.fi/vedenvuoro](http://www.ym.fi/vedenvuoro)).

## JÄTEVEDEN HAITTA-AINEET

Jäljet ihmisten elämästä ja käyttäytymisestä näkyvät jätevesistä. Päivittäin käytetyistä tuotteista päätyy tavalla tai toisella valtavia määriä erilaisia kemikaaleja jätevesiin ja sitä kautta jätevedenpuhdistamoille. Altistumisen reittejä ihmisen elimistöön on kolme: ruuansulatuskanava, keuhkot sekä iho (THL 2019). Näiden altistumisreittien kautta ihmisen elimistöön päätyneistä kemikaaleista osa erittyy lopulta viemäriin. Lisäksi erilaiset tuotteet ovat merkittävä lähde jätevesien sisältämille kemikaaleille. Käytettyjä materiaaleja tuotteiden valmistukseen on paljon, ja niistä irtoavien erilaisten kemikaalien määrä on sen mukainen. Tämän vuoksi jätevedet voivat olla kemialliselta sisällöltään hyvinkin monipuolisia.

Osa jätevesiin päätyvistä kemikaaleista on luettavissa haitallisiksi aineiksi. Ne sisältävät kemikaaleja, joilla voi olla myrkyllisyytensä tai eliöiden hormonitoimintaa häiritsevien ominaisuuksiensa vuoksi vakavia vaikutuksia ympäristössä ihmisiin ja muihin eliöihin. Vemo-hankkeessa keskitytään haitta-aineista raskasmetalleihin, mikromuoveihin ja lääkejäämiin.

Metalli luokitellaan raskasmetalliksi, jos sen tiheys on yli  $5 \text{ g/cm}^3$ . Raskasmetallit ovat ympäristössä hyvin pysyviä, ja vaikka osa niistä on ihmisten elimistölle tärkeitä hivenaineina (rauta, kupari ja sinkki), suurina pitoisuuksina ne ovat myrkyllisiä sekä elimistöön kertyviä.

Erittäin myrkyllisiä raskasmetalleja jo pienissäkin pitoisuuksissa ovat elohopea, kadmium ja lyijy. Raskasmetallit rikastuvat myös ravintoketjuissa, ja siitä johtuen ne voivat lopulta päätyä ihmiseen ravinnon kautta. Raskasmetalleja esiintyy ympäristössä luonnostaan, mutta niitä vapautuu ympäristöön teollisuudesta ja monista tuotteista, kuten sähkö- ja elektroniikkatuotteista, renkaista, väriaineista, lamputa sekä paristoista. (SYKE 2015)

Mikromuoveja ovat alle 5 millimetrin kokoiset muovihiukkaset. Ne voivat kulkeutua vesistöihin hulevesien ja yhdyskuntajätevesien kautta. Muoviroskan hajoamiseen voi kulua satoja vuosia ja sisältämiensä myrkyllisten sekä hormonoimintaa häiritsevien kemikaalien vuoksi ne ovat merkittävä ympäristöriski. Mikromuoveja päätyy ympäristöön muun muassa autojen renkaista, hygieni- ja kosmetiikkatuotteista sekä irtoamalla hajoamisen seurauksena erilaisista muovituotteista. (SYKE 2017)

Jätevedenpuhdistamoiden puhdistusmenetelmät ovat kehittyneet tehokkaammiksi, ja sitä kautta puhdistustuloksetkin ovat parantuneet huomattavasti. Jätevedenpuhdistamoilla käytössä olevia tekniikoita ei ole kuitenkaan suunniteltu puhdistamaan lääkejäämiä. (SYKE 2017) Lääkejäämät kehittävät muuan muassa bakteerien antibioottiresistenssiä ja vaikuttavat haitallisesti eliöihin vesiympäristössä häiritsemällä niiden lisääntymistä sekä käyttäytymistä (SYKE 2015). Suuria määriä vuodessa jätevedenpuhdistamoille päätyviä lääkeaineita ovat esimerkiksi diklofenaakki (310 kg/v), ibuprofeeni (8 000 kg/v) ja karbamatsepiini (56 kg/v). Diklofenaakki ja ibuprofeeni ovat tulehduskipulääkkeitä, ja karbamatsepiini on epilepsialääke. (Vieno 2014)

Ihmisten elämää ja käyttäytymistä voidaan tutkia myös huumeiden käytön osalta jätevesien kautta. Terveystieteiden tutkimuskeskus (THL) on tutkinut vuodesta 2012 asti huumeiden käyttöä valtakunnallisella jätevesitutkimuksella, joka kattaa 60 prosenttia väestöstä. Tutkimusajankautana muun muassa amfetamiinin, kokaiinin, metamfetamiinin sekä metyleenidioksimetamfetamiinin (MDMA) käyttö on lisääntynyt. Lisäksi tutkimuksissa on selvinnyt, että vuoden 2020 aikana amfetamiinin käyttö on ollut huomattavassa kasvussa koronaviruspandemiasta johtuvista poikkeusoloista ja -toimista huolimatta (THL 2020).

## HAITTA-AINEIDEN HAVAINNOINTI

Vemo-hankkeessa tehtävät tarkastelut keskittyvät Mikkelin kaupunkialueelle. Monitorointia tehdään jatkuvatoimisten mittauksien, kenttämittauksien ja näytteenottojen avulla. Pilot-kohteissa seurataan jäteveden metallipitoisuuksia sekä yleisiä laatuparametreja, kuten sähkönjohtavuutta ja pH:ta. Monitorointi tehdään pumppaamoissa (kuva 1) ja apuna käytetään kaupallisesti saatavia vedenlaadun mittaukseen soveltuvia sondeja ja laitteita. Lisäksi näytteenottoja kohdennetaan yksittäisiin päästölähteisiin sekä jätevedenpuhdistamoille, jolloin voidaan tutkia myös mikromuovi- ja lääkeainejäämäkuormitusta.



**KUVA 1.** Jäteveden monitorointia tehdään pumppaamoissa (kuva Riina Tuominen).

Tuloksiin haetaan lisää varmuutta ja luotettavuutta näytteenotolla. Näytteet analysoidaan akkreditoidussa laboratoriossa, ja osittain analysointia tehdään myös Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulun Xamkin ympäristötekniikan laboratoriossa sekä Lappeenrannan-Lahden teknillisen yliopiston LUTin laboratoriossa.

## **HAITTA-AINEIDEN VIEMÄRIIN PÄÄSYN EHKÄISY**

Vemo-hankkeessa laaditaan ohjeistus toiminnanharjoittajille, kunnille ja kuluttajille eri haitta-aineiden viemäriverkostoon pääsyn ehkäisemiseksi ja vähentämiseksi. Ohjeistuksessa kerrotaan eri haitta-aineita sisältävien aineiden oikeasta käsittelystä ja mahdollisista korvaavista tuotteista. Ohjeistus on valmistuttuaan vapaasti saatavissa, ja siitä tiedotetaan eri käyttäjäryhmiä. Ohjeistuksella pyritään lisäämään muun muassa lääkeaineisiin ja mikromuoveihin liittyvää tietoisuutta kuluttajien keskuudessa.



## YHTEENVETO

Käytämme päivittäin paljon erilaisista materiaaleista valmistettuja tuotteita, joiden kemiallisen koostumuksen kirjo on hyvin monipuolista. Kemikaalien suuren määrän ja niiden erilaisten ominaisuuksien myötä riskit ympäristön vahingoittumiselle kasvavat ja monipuolistuvat, mistä syntyy tarve uusille tutkimuksille. Jätevedet ovat päivittäin käyttämillemme kemikaaleille reitti ympäristöön, sillä suurin osa käyttämistämme kemikaaleista päättyy käytön jälkeen lopulta jätevesiin ja sitä kautta jätevedenpuhdistamoille.

Jäteveden kemiallinen koostumus riippuu toimistamme. Ihmisten ohjeistaminen haitta-aineita jätevesissä vähentäviin kulutusvalintoihin sekä jätteiden kierrätykseen ja oikeaoppiseen käsittelyyn on tärkeää. On myös hyvä tietää, minkälaista jätevettä puhdistamme, jotta voimme arvioida, mitkä päästölähteet ja yhdisteet sen kemialliseen koostumukseen vaikuttavat. Vähentämällä haitallisten aineiden päästöjä jätevesiä vastaanottavaan vesiympäristöön edistetään myös vesien hyvän tilan saavuttamista.

## LÄHTEET

SYKE 2020. Ilman epäpuhtauksien päästöt Suomessa. Suomen ympäristökeskus. WWW-dokumentti. Päivitetty 14.05.2020. Saatavissa: [https://www.ymparisto.fi/fi-FI/Kartat\\_ja\\_tilastot/Ilman\\_epapuhtauksien\\_paastot](https://www.ymparisto.fi/fi-FI/Kartat_ja_tilastot/Ilman_epapuhtauksien_paastot) [Viitattu 17.8.2020].

SYKE 2017. Mikromuovit riski myös Suomen vesistöille. Suomen ympäristökeskuksen julkaisuja. WWW-dokumentti. Julkaistu 21.3.2017. Saatavissa: [https://www.syke.fi/fi-FI/Ajankohtaista/Mikromuovit\\_riski\\_myos\\_Suomen\\_vesistoill\(42492\)](https://www.syke.fi/fi-FI/Ajankohtaista/Mikromuovit_riski_myos_Suomen_vesistoill(42492)) [Viitattu 17.8.2020].

SYKE 2015. Lääkeaineet. Suomen ympäristökeskus. WWW-dokumentti. Julkaistu 15.12.2015. Saatavissa: [https://www.ymparisto.fi/fi-FI/Kulutus\\_ja\\_tuotanto/Kemikaalien\\_ymparistoriskit/Ymparistoon\\_paatyvat\\_haitalliset\\_aineet/Laakeaineet](https://www.ymparisto.fi/fi-FI/Kulutus_ja_tuotanto/Kemikaalien_ymparistoriskit/Ymparistoon_paatyvat_haitalliset_aineet/Laakeaineet) [Viitattu 15.6.2020].

THL 2020. Jätevesitutkimus: väestötason huumeiden käyttö. Terveyden ja hyvinvoinnin laitos. WWW-dokumentti. Julkaistu 4.6.2020. Saatavissa: <https://thl.fi/fi/tutkimus-ja-kehittaminen/tutkimukset-ja-hankkeet/jatevesitutkimus> [Viitattu 12.08.2020].

THL 2019. Altistumisen arviointi. Terveyden ja hyvinvoinnin laitos. WWW-dokumentti. Julkaistu 9.9.2019. Saatavissa: <https://thl.fi/fi/web/ymparistoterveys/riskinarvio/altistumisen-arviointi> [Viitattu 17.8.2020].

Vieno, N. 2014. Haitalliset aineet jätevedenpuhdistamoilla -hankkeen loppuraportti. Suomen vesilaitosyhdistys ry. PDF-tiedosto. Saatavissa: [https://www.vvy.fi/site/assets/files/1617/haitalliset\\_aineen\\_jatevedenpuhdistamoilla\\_hankkeen\\_loppuraportti.pdf](https://www.vvy.fi/site/assets/files/1617/haitalliset_aineen_jatevedenpuhdistamoilla_hankkeen_loppuraportti.pdf) [Viitattu 8.6.2020].

# UUDET INNOVATIIVISET MENETELMÄT POHJAVESIEN LAADUN MONITOROINTIIN

Riina Tuominen & Aki Mykkänen & Marjatta Lehesvaara & Esa Hannus

Uudet innovatiiviset menetelmät pohjavesien laadun monitorointiin – Uumo-hankkeen tavoitteena oli kehittää uusia innovatiivisia pohjavesien näytteenotto- ja monitorointimenetelmiä ja siten edistää pohjavesien laadun kustannustehokasta seurantaa. Hankkeen toimenpiteiden tuloksena saatiin tietoa testattujen menetelmien käytettävyydestä ja tulosten luotettavuudesta. Uudet menetelmät auttavat myös vesilaitosten pohjaveden tilan riskinarvioinnissa.

Uumo-hanke toteutettiin Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulussa ajalla 1.1.2018–31.8.2020. Hanketta rahoitti Etelä-Savon ELY-keskus Euroopan unionin aluekehitysrastosta (EAKR 2014–2020) sekä Mikkelin Vesilaitos ja Rantasalmen kunta. Hankkeen toimenpiteiden suunnitteluun ja toteutukseen antoivat asiantuntijuuttaan Mikkelin Vesilaitos, Järvi-Saimaan Palvelut Oy, Ramboll Finland Oy, Mipro Oy ja Etelä-Savon ELY-keskus.

## POHJAVESIEN LAATUA HEIKENTÄVÄT TEKIJÄT

Pohjaveden laatu voi heikentyä luonnollisista syistä, mutta lähes aina se on seurausta ihmistoiminnan vaikutuksesta. Useimmissa tapauksissa pohjaveden pilaantuminen johtuu haitallisten aineiden kulkeutumisesta pilaantuneesta maaperästä pohjaveteen. Onkin tärkeää selvittää erilaisten päästölähteiden aiheuttamat ominaisuudet ja sijainti pohjavesialueittain, jotta vaaroihin voidaan varautua. Haitta-aineiden vaikutuksia tarkasteltaessa on tärkeää huomioida ainekohtaisia ominaisuuksia, jotka vaikuttavat niiden käyttäytymiseen sekä haitallisuuteen.

Pohjaveden laadussa voi tapahtua muutoksia hyvinkin nopeasti, jolloin näytteenoton oikea-aikaisuus on merkittävässä asemassa. Valvonnan ja näytteenoton ohella onkin tärkeää arvioida pohjavesialueen toimintojen sijainti- ja päästöriskejä ja tehdä tarpeen vaatiessa lisäselvityksiä alueella. Haitta-aineiden pohjaveteen pääsyn estäminen on tärkeää, sillä likaantuneen pohjaveden puhdistaminen on vaikeaa, kallista ja aikaa vievää. (Tuominen & Mykkänen 2020b)

## POHJAVEDEN PASSIIVINEN NÄYTTEENOTTO

Passiivisessa näytteenotossa pohjavettä ei pumpata, vaan passiivikeräin asetetaan tutkimuskohteeseen, kuten pohjaveden havaintoputkeen. Pohjavesi säilyy häiriintymättömänä, ja tutkimuksessa on mahdollista saada tietoa muun muassa pohjaveden kerrosten välisistä laatueroista.

Uumo-hankkeessa testattiin kaupallisia SorbiCell-näytteenottimia pohjaveden raskasmetalli- ja BAM-tutkimuksessa. Testauksessa verrattiin passiivikeräimistä määrittäjä pitoisuuksia perinteisen vesinäytteen määritystuloksiin. Erot tuloksissa johtuivat sekä näytteenottomenetelmästä että osittain epäonnistuneesta passiivinäytteenotosta, sillä vesi ei kaikissa tutkimuspisteissä kulkenut keräimen läpi. Passiivikeräinten käytössä tuleekin olla huolellinen ja varmistaa myös, että keräin on asennettu oikeaan syvyyteen, pohjaveden virtausolosuhteet ovat optimaaliset ja altistusaika määritetään oikein. (Tuominen & Mykkänen & Ranta 2020, Tuominen & Mykkänen 2020a)

Hankkeessa kehitettiin myös oma passiivikeräin kloorifenolinäytteenottoon. Keräin koostuu ENVI C18 -membraanikiekosta, joka on asennettu ruostumattomasta haponkestävästä teräksestä valmistettuun koteloon (kuva 1).



**KUVA 1.** Uumo-hankkeessa kehitetty passiivinäytteenotin kloorifenolien havaitsemiseen (kuva Aki Mykkänen).

Näytteenottimelle toteutetun kenttätestauksen perusteella todettiin menetelmän toimivan ja havaittiin pohjavedestä samanlaisia kloorifenolien pitoisuuksia kuin vesinäytteenotolla. Menetelmä vaatii kuitenkin vielä lisätutkimuksia ja kenttäkokeita toiminnan varmistamiseksi. (Lehesvaara & Mykkänen & Markova 2020)

## POHJAVEDEN ONLINE-MONITOROINTI

Online-mittausten avulla saadaan lähes reaaliaikaista tietoa pohjaveden laadusta valittujen muuttujien osalta. Pohjavesissä online-monitorointia käytetään nykyään lähinnä pohjaveden pinnankorkeuden määrittämiseen, mutta anturiteknologian kehittymisen ja pienentymisen myötä nykyään on mahdollista seurata myös muita tekijöitä.

Uumo-hankkeessa perustettiin kaksi monitorointiasemaa, joissa mitattiin YSI EXO 1 -sondin avulla pohjaveden lämpötilaa, pH:ta, sähkönjohtavuutta, sameutta ja happipitoisuutta (kuva 2). Sondin toimintaa varmistettiin kenttämittauksin ja näytteenotoin. Tulosten perusteella jatkuvatoiminen monitorointi on hyvä keino havaita pieniäkin muutoksia pohjaveden laadussa. Muutosten avulla voidaan kohdentaa näytteenottoa hetkiin, jolloin havaitaan poikkeuksia mittaustuloksissa. (Mykkänen & Turunen & Heikkinen 2020)



**KUVA 2.** Monitorointiasema laitteistoinen. Vasemmalla ylhäällä lähetinyksikkö, keskellä signaalinmuuntaja sekä alimpana vedenlaatusondi, oikealla valmis monitorointiasema (kuvat Aki Mykkänen).

Monitorointiasemien huoltovälin pidentämistä testattiin sekä sondin puhdistus- ja kalibrointivälin pidentämisellä että erilaisilla virtalähdekokoonpanoilla. Pohjaveden puhtaudesta riippuen sondin puhdistus- ja kalibrointiväliä voidaan pidentää jopa kuuteen kuukauteen

(Mykkänen & Ikonen 2020). Virrankeston kannalta optimaalisimmaksi vaihtoehdoksi todettiin versio, jossa sondi ja signaalinmuuntaja saavat virtansa erillisestä akusta. Lähetin saa virtansa alkuperäiseen tapaan omasta paristostaan. (Mykkänen & Perkinen 2020)

Monitorointiaseman mittaustulosten lähetystä testattiin myös vesilaitoksen järjestelmään. Saadut jatkuvatoimiset mittaukset nähtiin hyödylliseksi lisäykseksi muihin vesilaitoksen mittaamiin vedenlaatutietoihin. (Mykkänen & Ikonen 2020)

## VESISTÖKOHTEIDEN KAUKOKARTOITUS

Uumo-hankkeessa toteutettiin pohjaviesialueisiin liittyvien vesistökohteiden kaukokartoitusta ensisijaisesti dronen ja multispektrikameroiden avulla (kuva 3). Hyperspektrikuvaustestaus tehtiin Oulun ammattikorkeakoulun kaluston avulla ja lämpökamerakuvaustestaus yhteistyössä Vähähiilisyttä tukevat dronepalveluratkaisut Etelä-Suomessa -hankkeen sekä Geologian tutkimuskeskuksen (GTK) kanssa.



**KUVA 3.** Multispektrikuvausta dronen avulla (kuva Aki Mykkänen).

Dronen avulla tehtävällä havainnoinnilla on mahdollista saada tietoa kohteesta kustannus-  
tehokkaasti. Kuvaus voidaan toteuttaa silloin, kun sille on tarve, jolloin kuvamateriaali on paikallista, ajantasaista ja tarkoitukseensa sopivaa. Multispektrikuvaus on hyperspektrikuvausta merkittävästi edullisempi sekä kameroiden että tarvittavan lentolaitteen osalta. Multispektrikuviin datankäsittely on myös yksinkertaisempaa. Hyperspektrikuvauksella

voidaan kuitenkin havaita multispektrikameroiden ulottumattomissa olevia asioita ja tuottaa tarkempaa informaatiota. (Hannus 2020a, Hannus 2020b)

## **UUSIEN MENETELMIEN LIIKETOIMINTA- MAHDOLLISUUDET**

Uumo-hankkeessa arvioitiin siinä suunniteltujen ja testattujen menetelmien käyttökelpoisuutta sekä niiden tuottamaa hyötyä suhteessa niiden kustannuksiin. Arvioinnin tueksi tehtiin kyselytutkimus, jolla selvitettiin passiivisen näytteenoton, jatkuvatoimisen monitoroinnin ja droonikuvauksen tarvetta sekä kysyntää pohjaveden laadun seurannassa.

Arvioinnin ja kyselytutkimuksen perusteella voidaan todeta, että uusilla menetelmillä on todennäköisesti kysyntää tulevaisuudessa. Menetelmien käytettävyydestä ja luotettavuudesta kaivataan kuitenkin lisätietoja. Hankintakustannusten ollessa melko merkitsevät ei perinteistä pohjaveden laadun tarkkailua ja riskitekijöiden kartoittamista vaihdeta kevyin perustein uuteen menetelmään. Tiedon ja käyttökokemusten lisääntyessä uusien menetelmien ominaisuudet saadaan jaettua mahdollisille käyttäjille ja siten edistettyä uusien menetelmien käyttöönottoa perinteisten rinnalle. (Tuominen ym. 2020)

Testattujen vedenlaadun mittausmenetelmien avulla on mahdollista saada lähes reaaliaikais- ta tietoa vedenlaadun muutoksista, jolloin poikkeamiin voidaan reagoida entistä nopeam- min. Menetelmät antavat myös varoaikaa vesilaitoksille, jos vedenlaadun muutoksia tark- kaillaan pohjavesialueen raakavedestä ennen sen tuloa vesilaitokselle. Uusilla menetelmillä saadaan tarkemmin ja monipuolisemmin tietoa pohjavesien kemiallisesta tilasta, ja tietoa voidaan käyttää yritysten riskinarvioinnin tukena. Kokonaisvaltainen kuva pohjaveden- laadusta ja pohjavesialueen ympäristöstä edistää myös vesihuollon ympäristöturvallisuutta sekä mahdollistaa ja tukee alueen yritysten liiketoimintaedellytyksiä. Uumo-hankkeen toimenpiteisiin ja tuloksiin voi tutustua tarkemmin hankkeen internetsivuilla [www.xamk.fi/uumo](http://www.xamk.fi/uumo) ja julkaisussa ”Uusia menetelmiä pohjaveden laadun monitorointiin”.

# YHDYSKUNTIEN JÄTEVEDET BIO- JA KIERTOTALOUDEN RAAKA-AINEEKSI

Salla Pulliainen & Hanne Soininen & Shahla Radmehr & Mika Mänttari  
& Mari Kallioinen

Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulun ja LUT-yliopiston yhteishankkeessa ”Kiertovirrat – Jalostetut jätevedet ja lietteet bio- ja kiertotalouden raaka-ainevirroiksi” kehitetään jätevesien käsittelyä ja prosessissa muodostuvien sivuainevirtojen kytkemistä osaksi bio- ja kiertotaloutta. Prosessin ravinteiden talteenoton tehostaminen, puhdistusprosessin optimoiminen ja erilaisten vaihtoehtoisten tekniikoiden tutkiminen tukevat lietteen hyötykäyttöä ja vähentävät kuormitusta vesistöihin ja ympäristöön. Hanketta rahoittavat Etelä-Savon ELY-keskus Euroopan aluekehitysrahastosta, Mikkelin Vesiliikelaitos ja Aquazone Oy. Hankkeen toteutukseen osallistuvat lisäksi Operon Group Oy, Suomen Ekolannoite Oy ja Kospirt Oy.

## YHTEISHANKKEELLA UUSIA TOIMINTAMALLEJA KIERTOTALOUTEEN

Tutkimushankkeen tavoitteena on jätevesien käsittelyn tehostaminen ja prosessissa muodostuvien sivuainevirtojen kytkeminen osaksi bio- ja kiertotaloutta. Tavoitteena on puhdistusprosessin optimoiminen haitta-aineiden ja mikromuovien poiston osalta sekä erilaisten vaihtoehtoisten tekniikoiden tutkiminen lietteen hyödyntämiseksi. Tätä tukee osaltaan myös projektissa kehitettävä lietevirtojen jäljitettävyys. Tavoitteena on luoda kiertotalouteen uusia toimintamalleja ja -tapoja sekä lisätä yritysten liiketoimintamahdollisuuksia.

Hankkeen toimenpiteet ovat seuraavat:

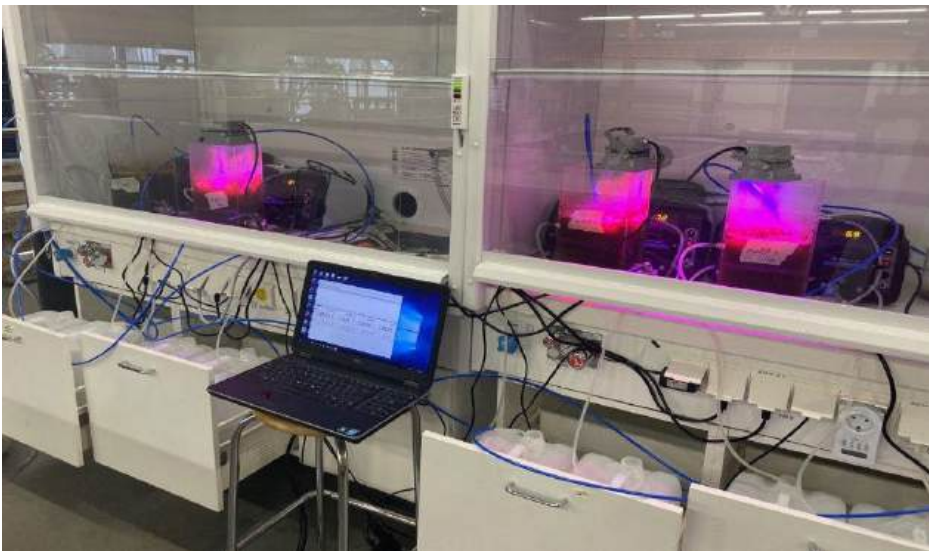
- Ravinteiden poistaminen jätevedestä MBR-tekniikan avulla – ravinteiden talteenoton tehostaminen (LUT)
- Liettevirroista uusia tuoteaihioita kiertotalouteen (Xamk)
- Tulosten jalkauttaminen ja raportointi (Xamk ja LUT)

Seuraavaksi on kuvattu hankkeen toimenpiteiden etenemistä ja alustavia tuloksia.



## RAVINTEIDEN POISTAMINEN JÄTEVEDESTÄ MBR-TEKNIIKAN AVULLA –RAVINTEIDEN TALTEENOTON TEHOSTAMINEN

LUT-yliopiston tavoitteena on selvittää yhteishankkeessa mahdollisuuksia parantaa MBR:n tehokkuutta ravinteiden poistossa erilaisilla menetelmillä. Yhtenä tutkituista menetelmistä on levän hyödyntäminen osana MBR:n biomassaa. Kokeita tehdään neljästä bioreaktorista koostuvalla koelaitteistolla (kuva 1). Bioreaktoreita voidaan käyttää sarjassa tai rinnakkain. Näiden avulla tutkitaan ravinteiden tehostettua poistamista jätevedestä käyttäen leväbiomassaa ravinteita keräävänä lisäaineena MBR:ssä. Kokeissa on käytetty synteettistä jätevettä ja *Chlorella Bulgaris* -levää.



**KUVA 1.** Koelaitteisto, jossa on neljä rinnakkaista membraanibioreaktoria, joista yhtä ajetaan ilman levää ja kolmea muuta siten, että biomassaan on lisätty levää eri suhteissa bakteerimäärään (kuva Shahla Radmehr).

Tähän mennessä saadut tulokset osoittavat, että leväbiomassan lisääminen membraanibioreaktoriin mahdollistaa tehokkaamman ravinteiden talteenoton ja vähentää membraanin likaantumista MBR:ssä merkittävästi. Likaantumisen hallinnan kannalta levän ja bakteeribiomassan suhde 1:2 vaikuttaa olevan tutkituista suhteista paras. Levän lisääminen MBR:iin vähentää merkittävästi solun ulkoisten polysakkaridien (EPS) määrää lietteessä, sillä levä ei tuota solun ulkoisia polysakkarideja. Levälisäyksen vaikutus COD:n poistotehokkuuteen ei ole alustavien tulosten perusteella merkittävä: kaikki kokeissa käytetyt reaktorit poistivat yli 95 prosenttia COD:sta aiheuttavia yhdisteitä. Ammoniumtyypen ja fosfaatin poistotehokkuutta voidaan sen sijaan levälisäyksellä parantaa jonkin verran.

Lisäksi tässä yhteishankkeessa LUT-yliopistolla tutkitaan sitä, voidaanko mikroilmastuksella vaikuttaa ravinteiden poistotehokkuuteen anaerobisessa MBR:ssä ja voidaanko kapasitiivista membraanideionisaatiota käyttää fosforinpoiston tehostamisessa.

## LIETEVIRROISTA UUSIA TUOTEAIHIOITA KIEROTALOUTEEN

Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulun toimenpiteessä tuotetaan uutta tietoa jätevesilietteen ja kalvobioreaktorissa (MBR) muodostuneen lietteen kuivatettavuudesta ja hyödynnettävyydestä. Esiselvitystietona hankkeessa on koottu laajat kirjallisuusselvitykset nykyisin käytössä olevista ja uusista sekä kotimaisista että kansainvälisistä jätevesilietteen kuivaus- ja käsittelymenetelmistä. Kirjallisuudesta löytyvän tiedon perusteella on selvitetty muun muassa jätevesilietteen sisältämän mikromuovin siirtymistä jätevesilietteestä tuotetun biokaasun mädätysjäännökseen ja siten mädätysjäännöksen hyödyntämistä esimerkiksi maanparannusaineena.

Yhtenä jätevesilietteen jalostamisvaihtoehtona on tutkittu lietteen käyttöä biokaasun raaka-aineena. Tarkoituksena on selvittää MBR-lietteen biokaasun ja metaanin tuottopotentiaalia ja siten arvioida yhdyskuntajätevesilietteen hyötykäytön kannattavuutta biokaasuna. Lisäksi laboratoriokokeissa on selvitetty mikromuovin erottamista jätevesilietteestä öljyerotusmenetelmällä. Erotusmenetelmää voidaan käyttää erilaisten lietematriisien, kuten kuivatun jätevesilietteen tai biokaasuntuotannon mädätysjäännöksen sisältämän mikromuovipitoisuuden, tutkimiseen ja siten lietteestä jalostetun tuotteen turvallisuuden ja ympäristövaikutusten arvioimiseen.

Laboratoriomittakaavan kokeissa on tutkittu jätevesilietteen jalostamista lietehiileksi. Prosessia on simuloitu esikuivaamalla MBR-lietettä termisesti sekä hiiltämällä kuivattua lietettä eri lämpötiloissa. Tavoitteena on selvittää hiiltoprosessin vaikutusta muun muassa lietteen ekotoksisuuteen ja lietteen sisältämän mikromuovin hajoamiseen (kuva 2).



**KUVA 2.** Kiertovirrat-hankkeessa tutkitaan jätevesilietteen ekotoksisuutta (kuva Jussi Konttila).

Hankkeessa on toteutettu jätevesilietteen jäljitettävyyttä edistävää demonstraatiota yhteistyössä yritysten kanssa. Demonstraation toteutus perustuu yritysten tarpeisiin dokumentoida liettä ja sen käsittelyä ja kuljetusta koskevat tiedot vaivattomasti yhteen järjestelmään. Näiden vaatimusten pohjalta on kehitteillä paikkatietoa hyödyntävä pilot-sovellus, josta lietteen jäljitettävyystiedot ovat helposti saatavilla muun muassa viranomaisraportointia varten.

## **YRITYKSILLE UUDENLAISIA LIIKETOIMINTAMAHDOLLISUUKSIA**

Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu ja LUT-yliopisto jatkavat yhteistyössä yritysten kanssa jätevesien ja lietteiden käsittelyvaihtoehtojen sekä materiaalien jalostamisvaihtoehtojen kehittämistyötä. Kiertovirrat-hanke edistää osaltaan myös eteläsavolaisten yritysten kansainvälistä kilpailukykyä.

# JÄTEVESILIETTEEN SISÄLTÄMÄN MIKROMUOVIN VAIKUTUS LIETTEEN HYÖTYKÄYTTÖÖN

Jussi Konttila & Salla Pulliainen

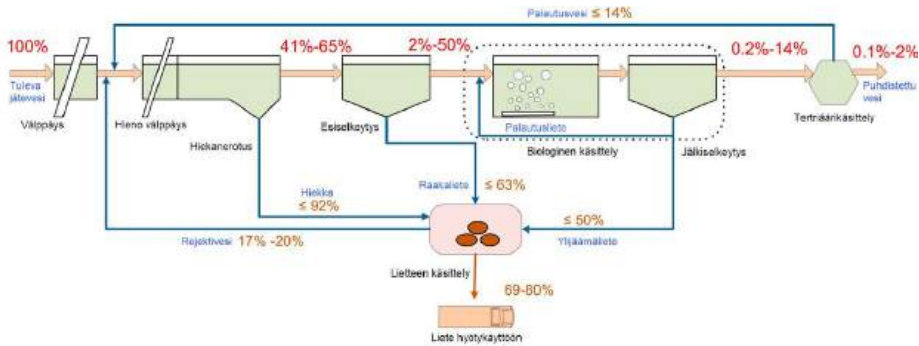
Mikromuovia päätyy jäteveden mukana yhdyskuntajätevedenpuhdistamoille, josta se puhdistetaan suurimmaksi osaksi prosessin sivutuotteeseen, puhdistamolietteeseen. Lietettä käytetään hyödyksi monin eri tavoin: maanparannusaineena, energiana tai maisemoinnissa. Liette sisältää arvokkaiden ravinteiden lisäksi kuitenkin myös haitta-aineita, kuten mikromuovia, jonka kaikkia vaikutuksia esimerkiksi maaperän eliöille ja kasveille ei vielä täysin tunneta. Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulun ja LUT-yliopiston yhteishankkeessa ”Kiertovirrat – Jalostetut jätevedet ja lietteet bio- ja kiertotalouden raaka-ainevirroiksi” tutkitaan yhdyskuntajätevesilietteen sisältämän mikromuovin vaikutuksia lietteen hyötykäyttöön. Hanketta rahoittavat Etelä-Savon ELY-keskus Euroopan aluekehitysrahastosta, Mikkelin Vesiliikelaitos ja Aquazone Oy.

## MIKROMUOVIT JÄTEVEDESSÄ JA PUHDISTUSPROSESSISSA

Mikromuoveiksi kutsutaan alle 5 mm:n kokoisia muovisia partikkeleita. Partikkelit voivat olla tarkoituksella pieniksi valmistettuja tai isommista muovikappaleista hajonneita palasia. Jätevetteen mikromuovia päätyy ensisijaisesti kotitalouksista. Kotitalouksien suurimmat mikromuovin lähteet ovat pyykinpesun yhteydessä keinokuituvaatteista irtoavat kuidut sekä kosmetiikka. Muita mikromuovin reittejä jätevetteen ovat muun muassa teollisuuden eri prosessit sekä hulevedet.

Jäteveden mukana mikromuovit kulkeutuvat jätevedenpuhdistamoille, jotka toimivat yhtenä mikromuovin reittinä ympäristöön (Magnusson & Noren 2014, Talvitie ym. 2015). Puhdistamalla mikromuovia poistuu eri vaiheissa puhdistusprosessia: eri arvioiden ja tutkimusten mukaan jopa 98–99,9 prosenttia saapuvasta muovista poistuu jätevedestä, ennen kuin se lasketaan ulos laitokselta (Sun ym. 2019, Lares ym. 2018, Talvitie ym. 2017b, Murphy ym. 2016). Kuvassa 1 on Sunin ym. (2019) arvio siitä, kuinka jätevedenpuhdistamolle tuleva mikromuovi kulkeutuu prosessissa ja palautuu takaisin siihen rejekti- ja palautusveden mukana. Arvion mukaan hiekanerotuksen jälkeen jätevedessä on vielä noin 40–65 prosenttia jäteveden mukana puhdistamolle tulevasta mikromuovista. Esiselkeytyksen jälkeen mikromuovia on jätevedessä jäljellä 2–50 prosenttia, kun jälkiselkeytyksen jälkeen

mikromuovista on jäljellä enää alle 15 prosenttia. Tertiäärikäsittelyllä jäteveden mikromuoveja saadaan edelleen poistettua kierrosta, jolloin lopullinen puhdistettu vesi sisältää enää arvion mukaan noin 0,1–2 prosenttia mikromuovia alkuperäiseen, puhdistamolle jätteveden mukana tulevaan mikromuovikuormaan verrattuna.



**KUVA 1.** Arvio mikromuovin kulkeutumisesta jätevedenpuhdistusprosessissa (mukailen Sun ym. 2019).

Puhdistetun jäteveden mikromuovin määrään vaikuttaa jäteveden laadun ja alkuperän lisäksi käytetty jätevedenpuhdistustekniikka. Kalvobioreaktorin (Membrane Bioreactor = MBR) on tutkittu puhdistavan jäteveden mikromuovit tehokkaammin (99,9 %) verrattuna hiekka- ja kiekkosuodattimeen tai korkeapaineeflotaatioon (Talvitie ym. 2017b). Puhdistettu mikromuovi päättyy prosessin sivutuotteeseen, puhdistamolietteeseen. Hyötykäyttöön menvässä lietteessä mikromuovia on edelleen noin 70–80 prosenttia jätevedenpuhdistamolle tulevasta mikromuovikuormasta. Lietteen käsittelyllä ja hyötykäyttökohteella onkin suuri merkitys, millaisen riskin mikromuovit aiheuttavat ympäristölle ja eliöstölle.

## MIKROMUOVIT – HAITTA LIETTEEN KÄSITTELYLLE JA KÄYTÖLLE

Puhdistamoliete sisältää orgaanista aineista ja runsaasti kasveille tärkeitä ravinteita. Lietevirrat ovatkin järkevää valjastaa bioenergian tuotantoon ja ravinteiden kierrätykseen bio- ja kiertotalousperiaatteiden mukaisesti, jolloin voidaan vähentää neitseellisten raaka-aineiden, kuten fosforin ja fossiilisten polttoaineiden, hankintaa ja käyttöä. Kansallinen ja EU-lainsäädäntö ohjaavat lietteiden käsittelyä ja hyötykäyttöä; laissa on määritetty maanparannusaineiden raja-arvot muun muassa raskasmetalleille ja taudinaiheuttajille (Lannoitevalmisteasetus 24/11). Mikromuovien osalta raja-arvoja tai enimmäispitoisuuksia ei kuitenkaan vielä tunneta. Puhdistamolietteiden hyötykäyttö biokaasun tuotannossa ja maanparannuksessa on kuitenkin altis lietteen sisältämien mikromuovien sekä niihin absorboituneiden haitta-aineiden vaikutuksille.

Viime vuosina tehtyjen tutkimusten mukaan lietteen sisältämät mikromuovit voivat haitata mädätysprosessia (Li ym. 2020, Wei ym. 2019, Fu ym. 2018). Valmistuksen yhteydessä muoveihin lisätyt aineet voivat huuhtoutua muoveista pois ja vaikuttaa mädätyksen mikro-organismeihin. Wei ym. (2019) havaitsi, että muoveista huuhtoutunut bisfenoli-A vaikutti mädätyksessä syntyvään metaaniin vähentävästi. Mikromuovit voivat absorboida jäteveden haitta-aineita, kuten raskasmetalleja, lääkeaineita ja pysyviä orgaanisia yhdisteitä (POP-yhdisteet), jolloin ne kulkeutuvat muovien mukana jatkokäsittelyyn (Zhang ym. 2020). Kaikkien näiden haitta-aineiden ja muovien lisäaineiden yhteisvaikutuksia ei pystytä kuin arvioimaan.

Mikromuoveihin kiinnittyneiden haitallisten aineiden vaikutukset ovat riippuvaisia siitä, miten hyvin ne vapautuvat muovien pinnalta mädätyksen mikro-organismien saataville. Lääkeaineet ja antibiootit voivat heikentää eri mädätysvaiheiden kasvua ja kehitystä. Raskasmetallien toksiset vaikutukset johtuvat niiden vaikutuksista entsyymien toimintoihin ja mikro-organismien yhteisöjen muuttamiseen. (Zhang ym. 2020)

Mikrokokoluokan muovien lisäksi myös nanomuovit voivat olla mädätyksen mikro-organismeille haitaksi. Fu ym. (2018) havaitsivat, että polystyreeninanomomuovit vaikuttavat mädätyksessä *Acetobacteroides hydrogenigenes* -bakteerin kasvuun ja metaboliaan, mikä näkyi muun muassa prosessin vedyn tuotannossa vähentävästi.

Viime vuosina on tehty tutkimuksia eri lietteenkäsittelymenetelmien vaikutuksista mikromuoveihin. Mahon ym. (2016) vertasivat mädätyksen, termisen kuivauksen ja kalkkistabilointien vaikutusta lietteen mikromuoveihin. Tutkimuksessa havaittiin mädätyksen mahdollisesti hajottavan muoveja jonkin verran, kun taas kalkkistabilointi rikkoisi muovikappaleita vain pienempiin osiin. Termisten lietteenkäsittelyjen uskotaan hajottavan mikromuovit, kun käsittelylämpötila on riittävän suuri. Vesilaitosyhdistyksen selvityksessä (2019) arvioitiin, että 450 °C:n lämpötilassa yli 90 prosenttia lietteen mikromuoveista hajoaisi. Termisten käsittelyjen vaikutuksia lietteen mikromuoveihin on vaikea luotettavasti tutkia, sillä luotettavia analyysimenetelmiä hiilletyn näytteen mikromuovipitoisuuden tutkimiseksi ei ole saatavilla.

## **VAIKUTUKSET MAAPERÄN ELIÖSTÖÖN JA KASVEIHIN**

Tutkimusten mukaan puhdistamolietteen hyödyntäminen maanparannuksessa lisää maaperän mikromuovipitoisuutta (van den Berg ym. 2020, Corradini ym. 2019). Mukanaan maaperään ne tuovat niihin kiinnittyneitä toksisia aineita, raskasmetalleja ja antibiootteja (Guo ym. 2020). Muovien jakaumaan ja kertymään maaperässä vaikuttavat muun muassa veden kulkeutuminen, maanhoito ja sadonkorjuu. Maaperään kertyneet muovit vaikuttavat sen tiheyteen, rakenteeseen, vedenpidätyskykyyn ja ravinnepitoisuuteen. (Wang ym. 2020)

Lietteen mukana maaperään kulkeutuneet mikromuovit altistavat maaperän eliöt, mikro-organismit ja kasvit monille haitallisille vaikutuksille. Maaperässä eliöt syövät mikromuovia, ja muovipalasten nielemisen jälkeen oikean ravinnon saaminen vähenee, minkä seurauksena eläimen energiavarat hupenevat ja kasvu hidastuu. Mikromuovit aiheuttavat eliöille fyysikaalisten vahinkojen lisäksi biokemiallisia vahinkoja, kuten aineenvaihdunta- ja lisääntymishäiriöitä. (Guo ym. 2020)

Kastemadot poikkeavat muista maaperän eliöistä siinä, että niiden ruoansulatusjärjestelmä pystyy käsittelemään hauraita mikromuovikappaleita hajottamalla niitä edelleen pienemmiksi kappaleiksi. Kastematojen mukana mikromuovit kulkeutuvat yhä laajemmalle alueelle maaperässä ja pilkkoutuvat pienemmiksi niiden ruoansulatuksessa. (Wang ym. 2019)

Mikromuovien on havaittu vaikuttavan kasvien kokonaisbiomassaan, kudoksiin ja juuriin (Wang ym. 2020). Guo ym. (2020) havaitsivat härkäpavun (*Vicia faba*) altistumisen polystyreenimikromuoveille vaikuttavan sen kasvuun heikentävästi ja kertyvän sen juuriin. Mikromuovien kertyminen kasveihin voi haitata ravintoaineiden kulkeutumista ja imeytymistä. Muovien vaikutuksesta muuttuneet maaperän huokoisuus ja kosteus voivat muuttaa esimerkiksi hapen kulkeutumista, ja muutokset hapessa voivat edelleen vaikuttaa aerobisten ja anaerobisten mikrobien toimintaan. (Guo ym. 2020)

## TUTKIMUSTIETO PROSESSIEN OPTIMOINNIN POHJANA

Suomessa puhdistamolietteet pääosin mädätetään ja mädätysjäännös hyödynnetään maanparannusaineena, jolloin lietteen mukana maaperään kulkeutuu mikromuovia. Jätevesilaitoksella tapahtuvan puhdistusprosessin aikana muovit voivat absorboida jäteveden haitallisia aineita vaikuttaen niin mädätysprosessiin kuin maaperän kasveihin ja eliöihin. Kaikkia mikromuovien aiheuttamia vaikutuksia, esimerkiksi niiden sisältämien ja niihin sitoutuneiden haitta- tai lääkeaineiden yhteisvaikutuksia, ei vielä tarkkaan tunneta. Jätevesilietteen sisältämien ravinteiden kierrätyksen kannalta onkin tärkeää lisätä tutkimustietoa mikromuovien vaikutuksesta jätevedenpuhdistusprosessiin ja lietteen hyödyntämiseen maanparannusaineena tai energianlähteenä.

## LÄHTEET

Corradini, F., Meza, P., Eguiluz, R., Casado, F., Huerta-Lwanga, E., Geissen, V. 2019. Evidence of microplastic accumulation in agricultural soils from sewage sludge disposal. *Science of The Total Environment* 671. s. 411–420.

Fu, S., Ding, J., Zhang, Y., Li, Y., Zhu, R., Yan, X., Zou, H., 2018. Exposure to poly-styrene nanoplastic leads to inhibition of anaerobic digestion system. *Science of The Total Environment* 625. s. 64–70.

Guo, J., Huang, X., Xiang, L., Wang, Y., Li, Y., Li, H., Cai, Q., Mo, H., Wong, M. 2020. Source, migration and toxicology of microplastics in soil. *Environmental International* 137.

Lares, M., Ncibi, M.C., Sillanpää, M., Sillanpää, M. 2018. Occurrence, identification and removal of microplastic particles and fibers in conventional activated sludge process and advanced MBR technology. *Water Research* 133. s. 236–246.

Li, L., Geng, S., Li, Z., Song, K. 2020. Effect of microplastic on anaerobic digestion of wasted activated sludge. *Chemosphere* 247.

Maa- ja metsätalousministeriön asetus lannoitevalmisteista 24/11.

Magnusson, K., Norén, F. 2014. Screening of microplastic particles in and down-stream a wastewater treatment plant. Report Number C 55. IVL Swedish Environmental Research Institute.

Mahon, A.M., O’Connel, B., Healy, M.G., O’Connor, I., Officer, R., Nash, R., Morri-son, L. 2016. Microplastics in Sewage Sludge: Effects of Treatment. *Environmental Science and Technology* 51.



# MIKROMUOVIT JÄTEVESI- LIETTEESSÄ – MENETELMIÄ NÄYTTEENOTTOON JA -KÄSITTELYYN

Jussi Konttila & Salla Pulliainen

Mikromuovit ovat yksi uusimmista tunnistetuista yhdyskuntajätevesilietteen sisältämistä haitta-aineista. Jätevedenpuhdistustekniikoiden tehostuessa jäteveden mikromuovit päätyvät enenevässä määrin lietteeseen, jolloin mikromuovit tulee ottaa huomioon lietteen jatko- ja hyötykäyttöä valitessa. Mikromuovien tutkimiseen jätevesilietteestä ei kuitenkaan ole vielä vakiintuneita, standardoituja menetelmiä, joten luotettavien tulosten saaminen ja tulkinta ovat vielä tutkimuslaitosten sovellettavissa. Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulun ja LUT-yliopiston yhteishankkeessa ”Kiertovirrat – Jalostetut jätevedet ja lietteet bio- ja kiertotalouden raaka-ainevirroiksi” -hankkeessa selvitetään jätevesilietteen hyötykäyttöä ja muun muassa mikromuovien vaikutusta lietteen käytön mahdollisuuksiin. Hanketta rahoittavat Etelä-Savon ELY-keskus Euroopan aluekehitysrahastosta, Mikkelin Vesiliikelaitos ja Aquazone Oy.

## KONTAMINAATORISKIN HUOMIOIMINEN

Onnistunut näytteenotto on luotettavan tuloksen kannalta tärkeää. Mikromuovitutkimusta tehtäessä on paljon tekijöitä, jotka voivat pilata näytteenoton ja sitä kautta koko tutkimuksen. Tutkimukseen on hyvä varautua tekemällä alustavia testejä, joiden tarkoituksena on näytteenoton, kuljetuksen ja analyysien mahdollisten sudenkuoppien havaitseminen ja prosessin optimointi. Testien avulla saadaan menetelmävarmuutta ja kontaminaatoriskiä vähennettyä kentällä, kuljetuksessa ja laboratoriossa (Lares ym. 2017).

Muovisten työvälineiden ja astioiden käyttöä on syytä välttää niiden kautta tapahtuvan kontaminaatoriskin minimoimiseksi. Lares ym. (2017) käyttivät tutkimuksissaan 10 ja 0,25 litran metallisia astioita, joista lietenäytteet siirrettiin metallista suppiloa käyttäen keitinlaseihin. Kontrollinäytteet ja riittävä rinnakkaisnäytteiden määrä ovat tärkeä osa mikromuovitutkimuksen laadunvarmistusta. Kontrollinäytteenä voidaan käyttää esimerkiksi tislattua tai suodatettua vettä tai muuta mikromuovivapaata matriisia.

Astiat ja välineet on hyvä huuhdella ennen käyttöä puhtaalla vedellä ja ne tulee suojata esimerkiksi alumiinifoliolla ilman kautta tapahtuvan kontaminaation estämiseksi. Vaat-

teista irtoavat kuidut voivat laskeutua näytteisiin työvaiheiden aikana. Siksi näytteenoton ja analyysien aikana käytettävien työvaatteiden tulee olla esimerkiksi puuvillasta valmistettuja, ei muovikuituasusteita. Gies ym. (2018) asettivat petrimaljalle suodattimen, jota käytettiin ilmasta laskeutuneiden mikromuovien keräämiseen. Menetelmän aikana suodattimelle kerääntyneet analysoitiin työskentelyn päätyttyä ja tulokset vähennettiin oikeista näytteistä (Gies ym. 2018).

## NÄYTTEENKÄSITTELYN VAIHEET

Mikromuovitutkimuksen vaiheet voidaan jakaa uuttoon, esikäsittelyyn ja tunnistukseen. Liete on nestemäinen matriisi, jossa mikro-organismit, orgaaniset ja epäorgaaniset partikkelit ja hiukkaset ovat kietoutuneet toisiinsa. Menetelmät lietteen mikromuovien erottamiseksi ovat kalliita ja aikaa vieviä ja vaativat vahvoja reagensseja ja hapettimia orgaanisen aineksen erottamiseksi. (Zhang & Chen 2020)

Esikäsittelymenetelmiä on kaksi: menetelmä, jossa epäpuhtaudet poistetaan, ja menetelmä, jossa erotus tehdään epäpuhtauksia poistamatta. Epäpuhtauksien poisto näytematriisista tapahtuu usein vahvojen reagenssien ja hapettimien avulla, jotka tuhoavat lietteen orgaanisen aineen. Tällöin mikromuovien tunnistus helpottuu. Erotus voidaan tehdä myös ilman epäpuhtauksien poistoa, jolloin esimerkiksi näytematriisin tiheyttä kasvatetaan eri aineilla. Näin kevyet mikromuovit nousevat näytteen pintaan. Erotus voidaan tehdä myös muovia sitovilla aineilla, kuten öljyllä. Muovipartikkelit uutetaan öljyyn, josta analyysi tehdään. (Zhang & Chen 2020)

Kun mikromuovit on erotettu muusta lietteen aineksesta, ne voidaan laskea ja tunnistaa visuaalisesti valomikroskoopilla, värjäytyistä näytteistä epifluoresenssimikroskoopilla, tai spektroskopisilla menetelmillä, kuten FTIR- tai Raman-analyyseilla (Lehtiniemi 2019).

## MIKROMUOVITUTKIMUKSEN MENETELMÄT KEHITYSVAIHEESSA

Standardoitujen menetelmien puute vaikeuttaa mikromuovitutkimusta. Vakiintuneiden menetelmien puuttuminen ajaa tutkijoita soveltamaan olemassa olevia tutkimusmenetelmiä omiin tarkoituksiinsa. Standardisoituja menetelmiä kaivataan erityisesti näytteenottoon ja -käsittelyyn, identifiointi- ja kvantitointimenetelmiin (Lehtiniemi 2019).

Eri menetelmin saadut tulokset vaikeuttavat tulosten vertailua. Uusien menetelmien testausten yhteydessä tulee tehdä saantotesti, jossa testataan, paljonko istutettuja mikromuoveja löytyy näytematriisista menetelmän koeajon jälkeen. Kiertovirrat-hankkeessa testattiin kahta eri menetelmää mikromuovien erottamiseen jätevesilietteestä: öljyutto- ja tiheyserotusmenetelmää.

Öljy-uuttomenetelmässä rasvaliukoiset mikromuovit uutuivat näytteisiin lisättyyn rypsiöljyyn, minkä jälkeen öljyfaasi suodatettiin nailonverkolle ja analysoitiin valomikroskoopilla. Hankkeen testeissä kokeiltiin menetelmän soveltuvuutta MBR-lietteen mikromuovien uuttoon ja arvioitiin sen soveltuvuutta mädätysjäännöksen mikromuovien tutkimiseen. Tiheyserotusmenetelmää testattiin hiiltojäännöksen mikromuovien tutkimisessa, jossa arvioitiin eri hiiltolämpötilojen vaikutusta MBR- ja aktiivilietteiden mikromuovikonsentraatioon. Öljyerotusmenetelmää testattaessa istutetut muovikuidut hajosivat käsittelyn aikana, eikä uuttoprosenttia voitu laskea. Kirjallisuuden perusteella sitä voidaan kuitenkin pitää varteenotettavana mikromuovien tutkimusmenetelmänä.

## **TUTKITTU TIETO, LAINSÄÄDÄNTÖ JA STANDARDIT HAITTOJEN EHKÄISYSSÄ**

Jätevesilietteen turvallisen hyötykäytön kannalta lietteen sisältämästä mikromuovista ja sen ympäristövaikutuksista tarvitaan lisää tutkittua, luotettavaa tietoa. Analyysimenetelmien ja tulosten tulkinnan yhdenmukaistaminen vaatii menetelmien testausta ja eri tutkimusmenetelmien soveltamista. Lietteiden sisältämät mikromuovit eivät ole ainoa uhka lietteen turvalliselle hyötykäytölle. Lietteiden sisältämät muut haitta-aineet, kuten raskasmetallit, lääkeaineet ja POP-yhdisteet, voivat yhdessä muovien lisäaineiden kanssa aiheuttaa ympäristöhaittoja, joita ei vielä tunneta. Haittojen ja riskien ehkäisemiseksi standardoitujen menetelmien ja mikromuovien huomioivan lainsäädännön kehittämiseksi tarvitaan lisää tutkimus- ja kehitystyötä.

## LÄHTEET

Gies, E.A., LeNoble, J.L., Noël, M., Etemadifar, A., Bishay, F., Hall, E.R., Ross, P.S. 2018. Retention of microplastics in a major secondary wastewater treatment plant in Vancouver, Canada. *Marine Pollution Bulletin* 133. s. 553–361.

Lares, M., Ncibi, M.C., Sillanpää, M., Sillanpää, M. 2018. Occurrence, identification and removal of microplastic particles and fibers in conventional activated sludge process and advanced MBR technology. *Water Research* 133. s. 236–246.

Lehtiniemi, M. 2019. Mikromuovit ympäristössämme ja analytiikan erityispiirteet. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://www.ruokavirasto.fi/globalassets/laboratoriopalvelut/ruokaviraston-hyvaksymat-laboratoriot/laba-2019-materiaalit/mikromuovit-lehtiniemi-02102019.pdf> [viitattu 20.8.2020]

Zhang, Z., Chen Y. 2020. Effects of microplastics on wastewater and sewage sludge treatment and their removal: A review. *Chemical Engineering Journal* 382. 122955.

# JÄTEVESILIETTEIDEN KÄSITTELY- TEKNIKOIDEN NYKYTILANNE SUOMESSA JA MAAILMALLA

Jussi Konttila & Salla Pulliainen

Yhä tehokkaampien jätevedenpuhdistustekniikoiden myötä myös puhdistamolietemäärät tulevat kasvamaan. Kasvat lietemäärät ja yhä tiukentuvat raja-arvot lietteen hyötykäytössä ohjaavat tulevaisuuden lietteidenkäsittelyä. Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulun ja LUT-yliopiston yhteishankkeessa ”Kiertovirrat – Jalostetut jätevedet ja lietteet bio- ja kiertotalouden raaka-ainevirroiksi” selvitetään yhdyskuntajätevesilietteen käsittelytekniikoita ja -kohteita niin kansallisella kuin kansainvälisellä tasolla. Hanketta rahoittavat Etelä-Savon ELY-keskus Euroopan aluekehitysrahastosta, Mikkelin Vesiliikelaitos ja Aquazone Oy.

## LAINSÄÄDÄNTÖ PUHDISTAMOLIETTEIDEN TURVALLISEN HYÖTYKÄYTÖN OHJAAJANA

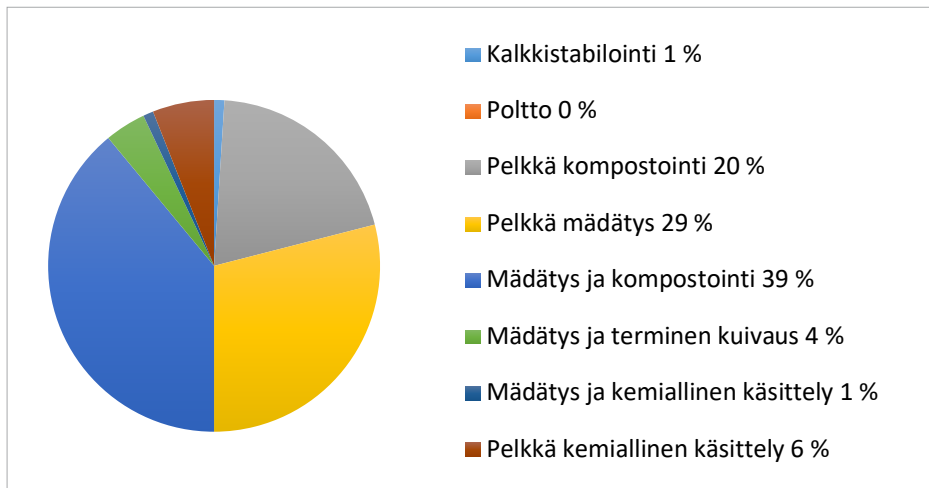
Yhdyskuntien jätevedenpuhdistamoilla syntyvä jätevesiliete pyritään nykyään yhä enenevässä määrin hyödyntämään osana materiaalikiertoa ja kiertotaloutta. Liette voidaan hyödyntää maanparannusaineena, maisemoinnissa kaatopaikoilla, biokaasun raaka-aineena tai energiana. Erilaisilla käsittelymenetelmillä pyritään vaikuttamaan jätevesilietteen laatuominaisuuksiin sekä pienentämään sen tilavuutta ja vähentämään käytöstä aiheutuvia hajuhaittoja.

Lietteen käyttöä EU-maissa ohjaavat niin EU:n tasolla annetut kuin jäsenmaiden omat kansalliset lait ja asetukset. Kansallisesti säädetyt, usein EU:n lainsäädäntöä tiukemmat raja-arvot haitta-aineille ohjaavat puhdistamolietteen käsittelymenetelmien ja käyttökohteiden valintaa. Suomessa lietteen käsittelyä ja käyttöä ohjaavat EU-lainsäädännön lisäksi Lannoitevalmistelaki 2006/539 ja MMM:n asetus lannoitevalmisteista (24/11) sekä nitraattiasetus 1250/2014. Lannoitevalmisteasetuksessa annetaan muun muassa raja-arvot lietteen sisältämille haitta-aineille, kuten raskasmetalleille ja taudinaiheuttajille. Nitraattiasetusta sovelletaan puhdistamolietepohjaisten lannoitevalmisteiden käytössä.

## KÄSITTELYTEKNIIKAT SUOMESSA

Yleisimmät puhdistamolietteen käsittelytekniikat Suomessa ovat kompostointi ja mädätys (kuva 1). Vesilaitosyhdistyksen keräämän aineiston mukaan Suomessa on vuosina 2015–2016 ollut noin 150 puhdistamolietettä käsittelevää laitosta. Näistä laitoksista 109

käsittelee lietteitä kompostoimalla. Kompostilaitoksia on 14 ja aumakompostikenttiä 95. Mädätyslaitoksia selvityksen mukaan on 34 kpl, joista 16 on jätevedenpuhdistamoiden biokaasulaitoksia ja 18 yhteiskäsittelylaitoksia. (VVY 2017)



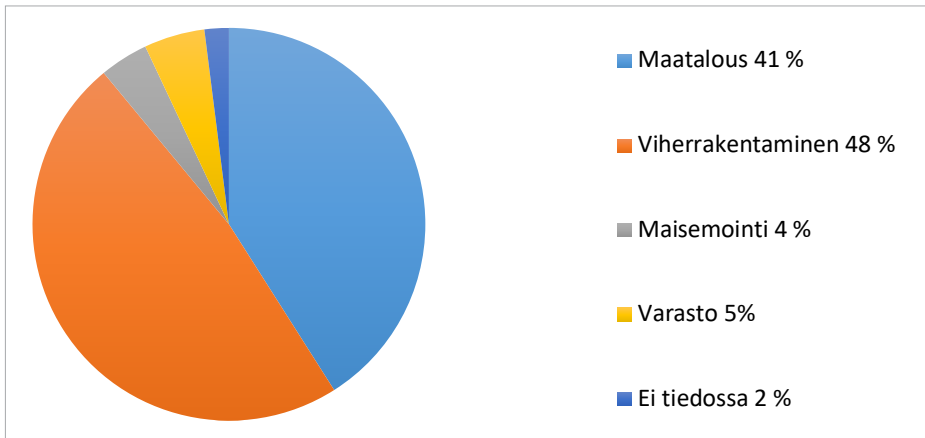
**KUVA 1.** Puhdistamolietteen käsittelymenetelmien osuudet vuonna 2016 Suomessa (mukaiillen VVY 2017).

Lietteen käsittely polttamalla on Suomessa vielä harvinaista. Lietettä poltetaan kolmella laitoksella: Haapavedellä, Riihimäellä ja Rovaniemellä. Haapavedellä Vapon pienvoimalaitoksella liete muodostaa alle prosentin kaikesta poltettavasta raaka-aineesta, kun taas Riihimäellä Fortumin voimalaitoksessa lietteen osuus voi ympäristöluvan mukaan olla enintään 10 prosenttia kaikesta polttoaineesta. (VVY 2017)

Rovaniemelle avattiin vuonna 2019 Suomen ensimmäinen puhdistamolietteen erillispolttolaitos. Laitoksen toiminta perustuu Suomessa kehitettyyn PAKU-tekniikkaan, jonka mukaan mekaanisesti kuivattua lietettä (20 % TS) sekoitetaan hiekkaan ja kuivataan yli 95 prosentin kuiva-ainepitoisuuteen. Hiekka ja liete ohjataan reaktoriin, josta hiekka palautuu kuivuriin ja lietteen savukaasut ohjataan käsittelyyn. PAKU-prosessi synnyttää kahdenlaista tuhkaa lietteestä: sykklonissa muodostuvaa lannoitetuhkaa sekä savukaasujen käsittelyn seurauksena syntyvää jätetuhkaa, johon lietteen raskasmetallit ovat konsentroituneet. (VVY 2019)

Heinolassa sellutehtaan jätevedenpuhdistamon biolietteitä käsitellään märkähiillolla (engl. hydrothermal carbonization). Ruotsalaisen C-Green Technology AB:n toimittamassa teknikkassa lietteen orgaaninen aines hajotetaan < 50 baarin paineen ja 180–250 °C:n lämpötilan avulla. Lopputuotteena prosessissa syntyy biohiiltä sekä rejektivettä ja -kaasua. (C-Green s.a; Luke 2018)

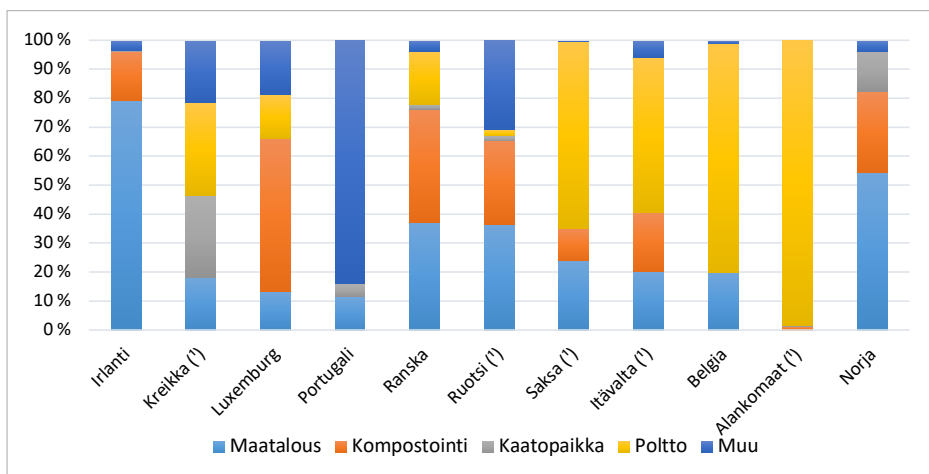
Lähes 90 prosenttia Suomessa syntyvästä puhdistamolietteestä käytetään viherrakentamisessa ja maataloudessa (kuva 2). Lisäksi lietteitä käytetään kaatopaikkojen maisemointiin ja osa varastoidaan myöhempää käyttöä varten. Osa syntyvän lietteen käyttökohteesta ei ole tiedossa. (VVY 2017)



**KUVA 2.** Puhdistamolietteiden hyötykäyttökohteet vuonna 2016 Suomessa (VVY 2017).

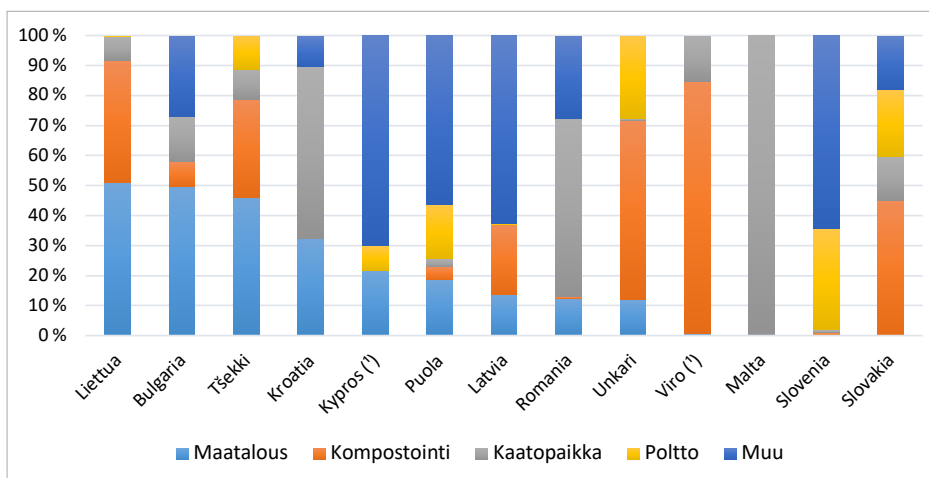
## LIETTEEN KÄSITTELY JA KÄYTTÖ EUROOPASSA

Lainsäädännön vaikutukset näkyvät käsittelytekniikan valinnassa Euroopassa. Esimerkiksi Alankomaissa ja Belgiassa on tiukat raja-arvot raskasmetalleille, minkä vuoksi siellä miltei kaikki syntyvä liete ohjataan polttoon (kuva 3). Poltto on yleistä myös Itävallassa, Saksassa, Ranskassa, Luxemburgissa ja Kreikassa. Maatalouteen puhdistamolietteitä ohjataan lähes kaikissa EU-15-maissa (ennen vuotta 2004 EU:hun liittyneet maat) Alankomaita lukuun ottamatta. Lietteitä kompostoidaan eniten Luxemburgissa, ja lisäksi se on käsittelymenetelmänä Irlannissa, Ranskassa, Ruotsissa, Saksassa, Itävallassa ja Norjassa. Kreikka ja Norja sekä pieninä määrinä Portugali, Ranska ja Ruotsi ohjaavat lietteitä kaatopaikoille. Kaikkea syntyvää lietettä ei tilastoida, joten osaa lietteiden käyttökohteista ei tiedetä. Lisäksi Tanskan, Espanjan, Italian, Suomen ja Ison-Britannian tietoja ei ole saatavilla tai niitä ei ole tilastoitu. (Eurostat s.a)



**KUVA 3.** Puhdistamolietteiden käsittely- ja käyttökohteet EU-maissa sekä Norjassa vuonna 2017. (¹) Tiedot vuodelta 2016. (mukaillen Eurostat s.a)

Lietteen polttaminen on vähäisempää EU-13-maissa (vuoden 2004 jälkeen EU:hun liittyneet maat) kuin EU-15-maissa (kuva 4). Tšekki, Kypros, Puola, Unkari, Slovenia ja Slovakia käsittelevät lietteensä pääasiassa polttamalla. Maatalouskäyttöön lietettä eniten käyttävät Liettua, Bulgaria ja Tšekki. Näiden maiden lisäksi myös Kroatia, Kypros, Puola, Latvia, Romania ja Unkari käyttävät puhdistamolietettä maataloudessa. EU-13-maista kaikki Kroatiaa, Kyprosta, Maltaa ja Sloveniaa lukuun ottamatta kompostoivat lietettä. Maltalla kaikki liete loppusijoitetaan kaatopaikoille, kuten myös Kroatiassa ja Romaniassa iso osa lietteestä. Viro ja Unkari kompostoivat suurimman osan lietteistään. Kompostikäsitteilyä hyödyntävät myös Liettua, Bulgaria, Tšekki, Puola, Latvia ja Slovakia. (Eurostat s.a)

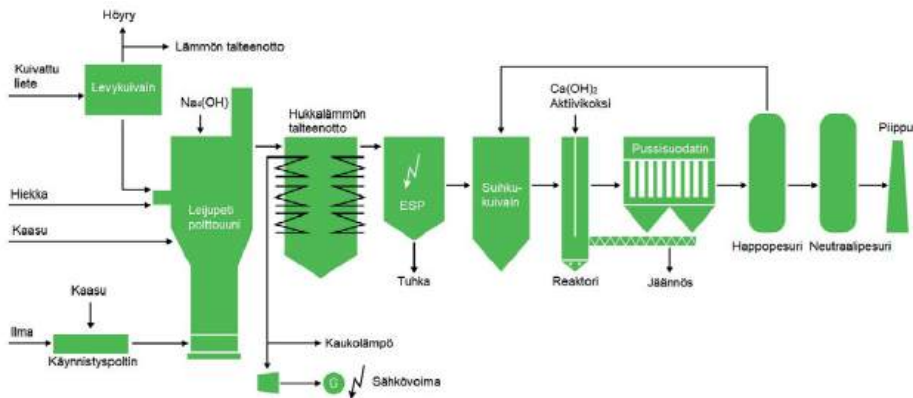


**KUVA 4.** Puhdistamolietteen käsittely- ja käyttökohteet EU-13-maissa vuonna 2017. (¹) Tiedot vuodelta 2016. (Eurostat s.a)



## LIETTEENKÄSITTELYTEKNIIKOITA EUROOPASSA

Outotec Oyj:n Zürichiin toimittama lietteenpolttolaitos polttaa lietettä leijupetireaktori-  
rissa 870–950 °C:n lämpötilassa. Poltossa syntyvät kuumat kaasut hyödynnetään lietteen  
esikuivauksessa ja sähköntuotannossa. Generaattoreihin ohjattu kuuma kaasu tuottaa kai-  
ken laitoksen tarvitseman sähkön, jonka suhteen se on omavarainen käynnistystä lukuun  
ottamatta. Jäljelle jäävästä tuhka valmistetaan fosfaattilannoitetta (kuva 5). (Outotec  
s.a, Outotec 2016)

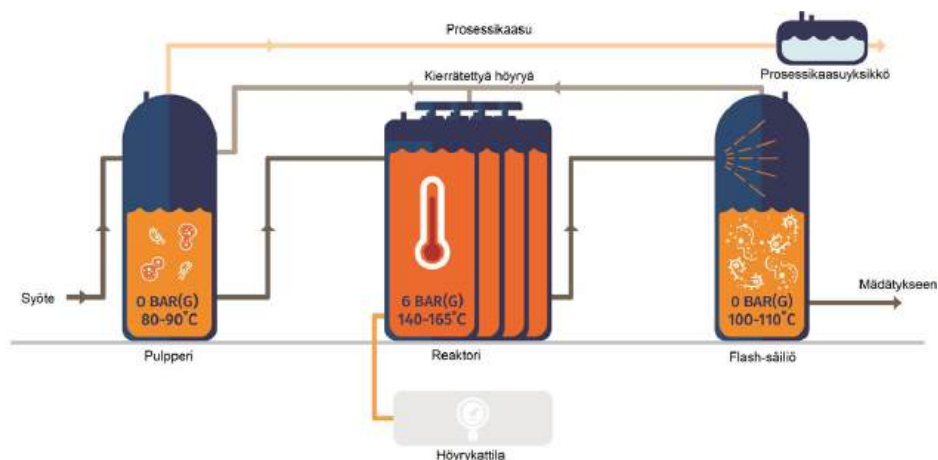


**KUVA 5.** Outotec lietteenpolttolaitos 100 -prosessikaavio, joka toimii Zürichissä, Sveitsissä (mukailien Outotec s.a).

Pyrolyysi on myös yksi lietteenkäsittelyyn sovellettu tekniikka, ja siitä on muutamia referenssilaitoksia maailmassa. Esimerkiksi Itävallassa Greenlife Resourcen GmbH:n pyrolyysilaitos käsittelee vuosittain 4 000 tonnia jätevesilietteitä, joista se tuottaa vuosittain 500 tonnia biohiiltä maanparannusaineeksi (Greenlife s.a). Suomessa pyrolyysikäsitteily on vasta laboratorio- ja pilotointikokeiden vaiheessa (Luostarinen).

Märkähiilto on lämpökemiallinen prosessi, jossa lietteen tai muun raaka-aineen orgaaninen aines hajotetaan < 50 baarin paineessa ja 180–250 °C:n lämpötilassa useiden tuntien ajan. Lopputuotteena syntyy biohiiltä (70 % TS), jota voidaan hyödyntää energiana, sekä ravinnepitoista nestejätettä, josta voidaan ottaa talteen muun muassa fosforia. Referenssilaitoksia maailmalla on muutamia, ja tekniikka on vielä kehitysasteella. (Luke 2018, TerraNova s.a)

Norjalainen Cambi Group käyttää lietteenkäsittelyssä termistä hydrolyysiä. Prosessissa liete sekoitetaan ja kuumennetaan 80–90 °C:n lämpötilaan pulpperissa, josta se siirtyy reaktoriin. Reaktorissa liete lämpökäsitellään höyryllä 145–165 °C:ssa ja 6 baarin paineessa 20–30 minuutin ajan. Reaktorin jälkeen paine ja lämpötila laskevat, ja painehäviön seurauksena orgaanisen aineksen solurakenteet tuhoutuvat (kuva 6). (Cambi Group s.a)



**KUVA 6.** Cambi Group: Termisen hydrolyysin prosessikaavion (mukaillen Cambi Group s.a).

Terminen hydrolyysi on ennen kaikkea lietteen esikäsittelytekniikka, joka liuottaa orgaanisia yhdisteitä lietteestä parantaen lietteen jatkokäsittelyä, kuten biokonversiota ja vedenpoistokykyä. Tekniikkaa sovelletaankin lietteen esikäsittelyssä mädätykseen, mutta sitä voidaan soveltaa myös jälki- tai omana erilliskäsittelynä. Tekniikka soveltuu myös polton esikäsittelyksi. (Dadgar 2020)

## TULEVAISUUDEN NÄKYMÄT LIETTEENKÄSITTELYSSÄ

Aiemmin jätteeksi luokiteltu puhdistamoliete nähdään nykyään yhä enenevässä määrin hyödynnettävänä, arvokkaana raaka-aineena. Puhdistamolietteen hyödyntäminen osana materiaalikiertoa ja kiertotaloutta vaatii kuitenkin tehokkaita käsittelymenetelmiä lietteelle asetettujen laatuvaatimusten täyttämiseksi. Käsittelymenetelmien valintaa ohjaavat lainsäädännön lisäksi käsittelyn lopputuotteen markkinat, mutta myös ravinteiden kierrätyksen mahdollisuus erityisesti fosforin osalta. Puhdistamolietteen hyödyntämisessä vaakakupissa painavat kierrätetyt ravinteet, ennakkoluulot lietteen hyötykäytön riskeistä, energiatehokkuus, ekologisuus sekä taloudellisuus.

Tulevaisuudessa uusien menetelmien kehittäminen vanhojen käsittelymenetelmien rinnalle ja osaksi myös korvaamaan niitä tulee lisääntymään. Esimerkiksi termistä hydrolyysiä sovelletaan yli 40 referenssilaitoksella (VVY 2019). Termisiä käsittelymenetelmiä, kuten poltto, pyrolyysi ja kaasutus, pidetään potentiaalisina vaihtoehtoina tulevaisuuden jätevesilietteiden käsittelylle. Niiden etuina ovat muun muassa hygienisointi, haitallisten aineiden tuhoutuminen ja lietteen tilavuuden merkittävä pieneneminen (Syed-Hassan ym. 2017). Esimerkiksi lietteen poltto vaatii energiaa ja esikuivausmenetelmän, joten ratkaistavana käsittelymenetelmissä on kustannus- ja energiatehokkaan prosessin muodostaminen. Lisäksi on tutkittava mahdollisen tukiaineen käyttö tai lietteen käyttäminen perinteisten polttoaineiden tukiaineena.

## LÄHTEET

C-Green Technology AB, s.a. The Smart Way To Recycle Wet Waste Into Biocoal and Biogas. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.c-green.se/> [viitattu 23.6.2020]

Cambi Group, s.a. How does a thermal hydrolysis work?. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.cambi.com/what-we-do/thermal-hydrolysis/how-does-thermal-hydrolysis-work/> [viitattu 9.6.2020]

Dadgar, F. 2020. R&D manager. Sähköpostiviesti 20.5.2020. Cambi Group.

Endev. 2017. Paku-prosessi. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.endev.fi/paku-prosessi/> [viitattu 23.6.2020]

Euroopan neuvoston direktiivi 86/278/ETY puhdistamolietteen käytöstä maanviljelyssä.

Euroopan neuvoston direktiivi 91/271/ETY yhdyskuntajätevesien käsittelystä.

Euroopan neuvoston direktiivi 91/676/ETY vesien suojelemisesta maataloudesta peräisin olevien nitraattien aiheuttamalta pilaantumiselta.

Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2000/76/EY jätteenpoltosta.

European Council Directive 1999/31/EC on landfill of waste.

Eurostat. 2020. Water Statistics. WWW-dokumentti. Saatavissa: [https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Water\\_statistics](https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Water_statistics) [viitattu 1.6.2020]

Greenlife, s.a. Recycling of sewage sludges: pyrolysis. PDF-dokumentti. Saatavissa: [http://www.greenlife.co.at/uploads/2/3/2/5/23252088/greenlife\\_pyrolysis.pdf](http://www.greenlife.co.at/uploads/2/3/2/5/23252088/greenlife_pyrolysis.pdf) [viitattu 10.6.2020]

Lannoitevalmistelaki 29.6.2006/539.

Luonnonvarakeskus. 2018. Opas kierrätyslannoitevalmisteiden tuottajille. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 37/2018. PDF-dokumentti. Saatavissa: [https://jukuri.luke.fi/bitstream/handle/10024/542240/luke-luobio\\_37\\_2018\\_2X.pdf?sequence=8&isAllowed=y](https://jukuri.luke.fi/bitstream/handle/10024/542240/luke-luobio_37_2018_2X.pdf?sequence=8&isAllowed=y) [viitattu 23.6.2020]

Luostarinen, S., Tampio, E., Berlin, T., Grönroos, J., Kauppila, J., Koikkalainen, K., Niskanen, O., Rasa, K., Salo, T., Turtola, E., Valve, H., Ylivainio, K. 2019. Keinoja organisten lannoitevalmisteiden käytön edistämiseen. Maa- ja metsätalousministeriön julkaisuja 2019:5. Helsinki.

Maa- ja metsätalousministeriön asetus lannoitevalmisteista 24/11. 2011. PDF-dokumentti. Saatavilla MMM:n sivuilta: <https://mmm.fi/elaimet-kasvit/lannoitevalmisteet>

Outotec. s.a. Sustainable Sewage Sludge Incineration For Zürich Canton. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.outotec.com/references/sustainable-sewage-sludge-incineration-for-zurich-canton/> [viitattu 10.6.2020]

Outotec. 2016. Sustainable Sewage Sludge Incineration for Zürich Canton. PDF-dokumentti. Saatavissa: [https://www.outotec.com/globalassets/products/energy-production/ote\\_outotec\\_sustainable\\_sewage\\_sludge\\_incineration\\_for\\_zurich\\_canton\\_eng\\_web.pdf](https://www.outotec.com/globalassets/products/energy-production/ote_outotec_sustainable_sewage_sludge_incineration_for_zurich_canton_eng_web.pdf) [viitattu 10.6.2020]

Suomen Vesilaitosyhdistys VVY. 2017. Yhdyskuntalietteen käsittelyn ja hyödyntämisen nykytilannekatsaus. Vesilaitosyhdistyksen monistesarja nro 46. Helsinki. PDF-dokumentti. Saatavissa: [https://www.vvy.fi/site/assets/files/1621/yhdyskuntalietteen\\_ka\\_sittelyn\\_ja\\_hyodyntamisen\\_nykytilannekatsaus\\_26092017.pdf](https://www.vvy.fi/site/assets/files/1621/yhdyskuntalietteen_ka_sittelyn_ja_hyodyntamisen_nykytilannekatsaus_26092017.pdf) [viitattu 1.6.2020]

Suomen Vesilaitosyhdistys VVY. 2019. Puhdistamolietteen termiset käsittelymenetelmät ja niiden soveltuvuus Suomeen. Vesilaitosyhdistyksen monistesarja nro 56. Helsinki. PDF-dokumentti. Saatavissa: [https://www.vvy.fi/site/assets/files/2916/puhdistamolietteen\\_termiset\\_kasittelymenetelmat\\_ja\\_niiden\\_soveltuvuus\\_suomeen.pdf](https://www.vvy.fi/site/assets/files/2916/puhdistamolietteen_termiset_kasittelymenetelmat_ja_niiden_soveltuvuus_suomeen.pdf) [viitattu 2.6.2020]

Syed-Hassan, S.S.A., Wang, Y., Hu, S., Su, S., Xiang, J., 2017. Thermochemical processing of sewage sludge to energy and fuel: Fundamentals, challenges and considerations. Renewable and Sustainable Energy Reviews 80. s. 888–913.

TerraNova. S.a. The TerraNova® Ultra -Process. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://terranova-energy.com/en/project/process/> [viitattu 4.8.2020]

Valtioneuvoston asetus eräiden maa- ja puutarhataloudesta peräisin olevien päästöjen rajoittamisesta 18.12.2014/1250.

# BIOHIILTÄ HYÖDYNTÄVIEN HULE- JA SUOTOVESIEN KÄSITTELY- RATKAISUJEN KÄYTTÖ- HAVAINNOT SEKÄ MUUTOSTYÖT PILOT-KOHITEISSA

Aki Mykkänen & Lasse Hämäläinen & Sari Hämäläinen

Huky – Hulevesien käsittelyn T&K-ympäristö (A74988) -hankkeessa toteutetaan vesitutkimusta Mikkelin Pitkäjärvelle rakennetussa hulevesien käsittelyjärjestelmässä sekä Ristiinan vanhalle kaatopaikalle rakennetussa suotovesien biosuodatuslaitteistossa. Tutkimuskohteet mahdollistavat tutkimus- ja kehitystyön Mikkelin alueen vesistöihin laskevilla hule- ja suotovesillä. Hankkeen tavoitteena on tutkia kohteissa käytettävien biohiilien puhdistushokkuutta sekä järjestelmien toimivuutta tutkimusympäristöinä. Huky on rinnakkaishanke Mikkelin kaupungin investointihankkeelle (A74989), jossa toteutetaan biohiilipohjaisten hulevesien käsittelyratkaisut Mikkelin Pitkäjärvelle ja Ristiinaan. Huky on Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulun ja Mikkelin kehitysyhtiö Miksei Oy:n yhteishanke. Hankkeita rahoittaa Etelä-Savon ELY-keskus Euroopan aluekehitysrahastosta ja Mikkelin kaupunki.

## PITKÄJÄRVEN HULEVESIJÄRJESTELMÄ

Pitkäjärven hulevesijärjestelmällä on tavoitteena tutkia suodatintyyppistä puhdistusratkaisua hulevesien laadun parantamiseen. Kohteen avulla saadaan myös mitoitus- ja käyttötietoa vastaanlaisten kohteiden suunnitteluun. Käsittelyalue koostuu vastaanottosäiliöstä, käsittelyalueesta ja imeytys-/viivytyalueesta. Järjestelmässä oleva maanalainen kasettisäiliö mahdollistaa sadannan myötä muodostuvien, likaisimpien hulevesien säilömistä. Kasettisäiliöstä vesi ohjataan suodatinkaivoihin, joissa on tutkittavista materiaaleista valmistetut suodatinkerrokset. Maan päällä kohteesta on nähtävillä muun muassa suodatinkaivojen kannet (kuva 1).



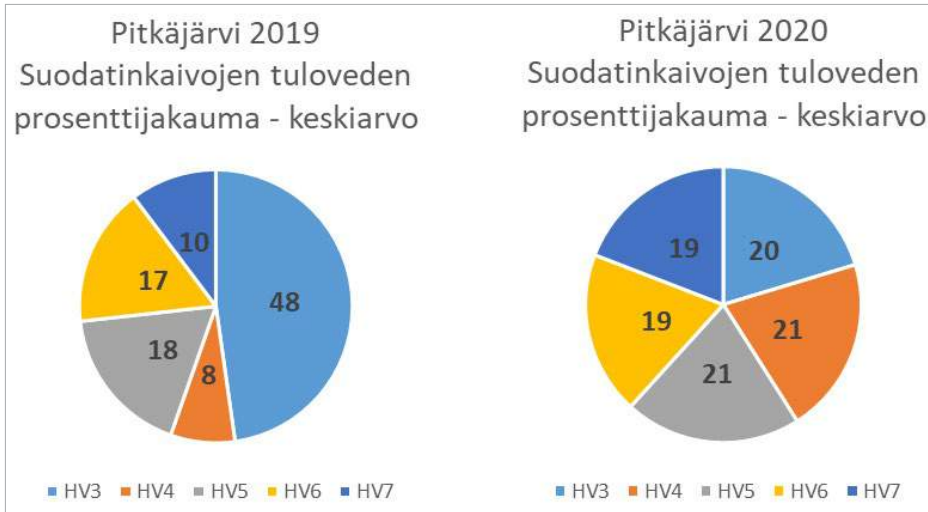
**KUVA 1.** Pitkäjärven hulevesijärjestelmä. Keskellä näkyvät viisi vierekkäistä kaivoa sisältävät suodatinmateriaalit. (kuva Juha Vihavainen)

Järjestelmä käyttöönotettiin toukokuussa 2019, jolloin myös hulevesien tutkimustoiminta alkoi. Kuitenkin vuoden 2019 aikana kävi selväksi, että järjestelmään piti tehdä muutostöitä näytteenotto- ja tutkimustoiminnan varmistamiseksi. Suurimpia muutostöiden syitä olivat järjestelmän tukkeutumisen estäminen sekä virtaaman tasaaminen kaivojen välillä. Kevään 2020 muutostöissä suodatinmateriaalit nostettiin pois kaivoista ja kaivojen tulovesiputkiin asennettiin suuttimet, joiden avulla tulovirtaamaa voitiin säädellä portaattomasti. Suodatinkaivojen poistoputket olivat myös samassa korossa järjestelmän laskuajan kanssa, mikä vaikeutti poistovesien tutkimista kaivokohtaisesti. Ongelma saatiin ratkaistua asentamalla suodatinkaivojen poistoputkiin korotetut suuttimet. Uudet tulo- sekä poistoputket sekä niiden säädöt ovat esillä kuvassa 2. Muutostöiden ideointi ja toteutus on tehty yhteistyössä Maarakennus Talpa Oy:n sekä Mikkelin kaupungin kanssa.



**KUVA 2.** Pitkäjärven hulevesijärjestelmän kevään 2020 muutostöiden tuloksia. Vasemmalla suodatinkaivoissa oleva säätöventtiili, josta tulovirtaamaa voidaan säädellä kaivokohtaisesti. Oikealla kokoojakaivosta kaikkien viiden suodatinkaivon korotetut poistoputket, jotka estävät vesien sekoittumisen ja mahdollistavat helpomman tutkimustyön. (kuva Aki Mykkänen)

Tehtyjen muutostöiden avulla järjestelmän käyttö on helpottunut sekä tarkentunut huomattavasti. Vuonna 2019 noin puolet kaikesta järjestelmään tulevasta hulevedestä meni yhden, korollisesti noin yhden senttimetrin muita alempana olevan kaivon läpi. Vuonna 2020 uusien tuloveden säätöventtiilien avulla tulovesi saatiin jaettua tasan kaikkien suodatinkaivojen välillä. Kuvassa 3 on vuosien 2019 sekä 2020 tuloveden prosenttijakauma kaivojen välillä.



**KUVA 3.** Suodatinkaivokohtaiset tulovesien jakaumat vuosina 2019 sekä 2020. Muutostöiden jälkeen vesi jakautuu tasan viiden kaivon välille.

Muita muutostöitä olivat muun muassa suodatinmateriaaleja paikoillaan pitäneiden silttikangaspussin poistaminen ja korvaaminen sepelikerroksella sekä virtaamapatojen lisääminen järjestelmän poisto- sekä ohivirtaamajille. Tulokaivolle asennettiin myös verkko, joka estää roskia ja pieniä eläimiä kulkeutumasta järjestelmään. Muutostöiden ansiosta vuoden 2020 aikana kohteesta on saatu suodatinmateriaalikohtaista tutkimustietoa. Tulosuuttimien ansiosta vesimääriä voidaan säädellä, jolloin suodatinmateriaaleille tuleva vesimäärä ei vaihtele tuloveden vaihteluiden mukana. Tulovirtaamia voidaan siis muuttaa ilman suodatinmateriaaleihin koskemista.

## RISTIINAN VANHAN KAATOPAIKAN SUOTOVESIEN BIOSUODATUSLAITTEISTO

Ristiinan vanhalle kaatopaikalle rakennettu suotovesien biosuodatuslaitteisto mahdollistaa erityisesti typenpoiston tutkimisen eri viipymillä ja virtaamilla. Laitteiston tavoitteena on vähentää kaatopaikalta tulevaa suotoveden kuormitusta läheiseen vesistöön ja samalla tutkia biohiili-puuhake-suodattimen toimivuutta kaatopaikkavesien käsittelyssä. Siirtolavan sisään rakennetun järjestelmän toiminta käynnistettiin elokuussa 2019 ja toimintaa

jatkettiin marraskuuhun 2019 saakka. Pakkasten myötä nähtiin parhaaksi, ettei järjestelmää jäätymsvaaran takia käytetä talvisaikaan. Vuoden 2019 aikana havaituista haasteista suurimmat liittyivät suotoveden suuriin rautapitoisuuksiin. Ilmastuksen seurauksena vedestä sakkautuva rauta tukki tulovesipumpun, -putket ja suodatinmateriaalit. Kuvassa 4 on esimerkki virtaamanjakoaltaaseen kertyneestä rautasakasta. Sakan lisäksi ongelmia tuotti suodatinjärjestelmän sisältävän lavan painuminen maahan, minkä seurauksena virtaaman-säätely oli erittäin haastavaa.



**KUVA 4.** Ristiinan järjestelmän altaisiin kertyvä metallisakka tyhjennyksen yhteydessä (kuva Aki Mykkänen).



Tukkeutumisen takia nähtiin parhaaksi, että vuoden 2020 jaksolle järjestelmään lisätään esipuhdistusaltaat, joiden avulla suodatinmateriaaleille asti pääsevää sakkamäärää saadaan vähennettyä. Muutostöiden ideointi ja toteutus tehtiin yhteistyössä järjestelmän suunnittelijan Vahanen Environment Oy:n, Maarakennus Talpa Oy:n sekä Mikkelin kaupungin kanssa.

Toukokuussa 2020 järjestelmän vanhat, sakalla likaantuneet suodatinmateriaalit poistettiin ja tyhjennetty lava pestiin. Suotoveden esikäsitteilyyn käytettävä ilmastuspumppu siirrettiin erilliseen, IBC-kontista tehtyyn ilmastusaltaaseen. Ilmastusaltaan jälkeen lisättiin toinen IBC-kontti, joka toimii selkeytysaltaana. Samalla lavan pohjarakenteita vahvistettiin sekä siihen lisättiin poistoventtiilejä tyhjennyksen helpottamiseksi. Uusi kuusibiohiili-haapahaake-seos lisättiin järjestelmään ja sen toiminta käynnistettiin uudelleen 7.5.2020. Muutostöiden jälkeinen biosuodatuslaitteisto on esillä kuvassa 5.



**KUVA 5.** Kevään 2020 muutostöiden jälkeinen Ristiinan vanhan kaatopaikan biosuodatuslaitteisto. Vasemmalla kaksi IBC-konteista tehtyä esiselkeytysallasta. (kuva Aki Mykkänen)

Esiselkeytysaltaat osoittautuivat hyväksi lisäksi järjestelmään. Niiden avulla suotoveden sisältämä rauta saadaan sakkautumaan ennen biohiili-puuhake-seosta, mikä pidentää järjestelmän huoltoväliä. IBC-konttien rakenteen takia kertyneen sakan määrää on myös helpompi seurata.

## SUODATINMATERIAALIEN LABORATORIOKOKKEET

Xamkin ympäristölaboratoriolla suoritettiin talven 2019–2020 aikana kokeita suodatinmateriaalina käytettävillä biohiilillä. Kokeiden tarkoituksena oli selvittää Pitkäjärven järjestelmän epätasaisen virtaaman syy sekä biohiilen kykyä sitoa itseensä ravinteita vedestä. Kokeiden suorittamista varten rakennettiin koeteline (kuva 6), jolla pystyttiin testaamaan useaa suodatinasetelmaa samanaikaisesti.



**KUVA 6.** Laboratoriotestejä varten rakennettu kolonniteline (kuva Aki Mykkänen).

Laboratoriokokeissa ainoa virtaamaa selkeästi hidastava suodatinrakenne oli kaivoissa käytetty silttikangas. Kankaan tarkoituksena järjestelmässä oli ottaa kiinni hienojakoista hiilipölyä, jota biohiilistä irtoaa aina liikuteltaessa. Käytetty kangas oli liian tiivistä, ja hiilipöly tukki kankaan alkujaankin tiheät huokokset (kuva 7). Ilman silttikangasta suodatinmateriaalit eivät hidastaneet veden virtaamaa huomattavasti. Silttikankaan havaitun tukkeutumisen perusteella kangas korvattiin sepelikerroksella Pitkäjärven kaivoissa ennen vuoden 2020 mittauksen aloitusta.



**KUVA 7.** Biohiilipölystä tukkeutunut silttikangas. Suodattimen läpi laskettu noin 30 litraa vettä. (kuva Aki Mykkänen)

Biohiilien ravinteiden sitomiskykyä testattiin laboratoriossa valmistetulla laimealla lannoitevedellä, jolla simuloitiin hulevettä. Biohiilistä rakennettiin suodattimia, joiden läpi suodatettiin puhdasta sekä lannoitevettä. Suodatetuista vesistä tehtiin kokonaisfosfori- sekä kokonaisytyppianalyysit, joita verrattiin lähtötilanteen arvoihin. Suodattimilla ei ollut merkittävää vaikutusta tyypitasoihin. Fosforianalyseissä selvisi, että sekalehtipuusta valmistettu biohiili vapautti läpi virtaavaan veteen fosforia, joka johtui todennäköisesti hiilinäytteessä mukana olleesta palamattomasta puumateriaalista. Muut testatut biohiililaadut sitoivat itseensä fosforia.

Laboratoriotestit tukivat kenttämittauksilla saatuja tuloksia. Pitkäjärven kaivojen poistovirtaama oli mitoitukseen nähden todella pientä, joten oli selvää, että suodatinkaivot padottavat järjestelmää. Myös vuoden 2019 ravinneanalyyseissä oli sekalehtipuukaivon poistovedessä havaittu korkeampia fosforipitoisuuksia muihin kaivoihin verrattuna. Koikeiden perusteella suunniteltiin keväälle 2020 muutostyöt, joiden tavoitteena oli parantaa Pitkäjärven järjestelmän virtaamaa.

## YHTEENVETO

Kuten lähes aina, toteutusvaiheen tuoman käyttökokemuksen myötä esille nousi asioita, joihin ei ollut pystytty valmistautumaan. Vuonna 2019 saatujen havaintojen perusteella molempia tutkittavia kohteita muokattiin tutkimustoiminnan parantamiseksi. Muutokset ovat parantaneet järjestelmien puhdistustehoa sekä mahdollistaneet tarkemmat mittaukset. Pitkäjärven kohteessa muutostöillä on saavutettu suunnitelman mukainen virtaama ja portaaton virtaamansäätö. Ristiinan kohteen muokkaukset ovat vähentäneet suodatinpatjalle asti kulkeutuvan rautasakan määrää, mikä pidentää järjestelmän huoltoväliä ja parantaa sen toimivuutta.

Saaduista käyttöhavainnoista on konkreettista hyötyä erityisesti kohteiden jatkokäyttöä varten. Saadun tiedon avulla esimerkiksi virtaamamääriä sekä suodatinmateriaaleja voidaan mitoittaa niin, että puhdistusprosessi on mahdollisimman tehokas. Myös itse järjestelmien toimivuuteen liittyvät havainnot ovat tärkeitä, jotta tulevaisuudessa toiminta on mahdollisimman huoltovapaata ja tutkimus voidaan aloittaa mahdollisimman hyvillä pohjatiedoilla. Järjestelmistä saadut tiedot ja havainnot ovat myös hyödyllisiä vastaavanlaisia suoto- ja hulevesipuhdistusjärjestelmiä suunniteltaessa.

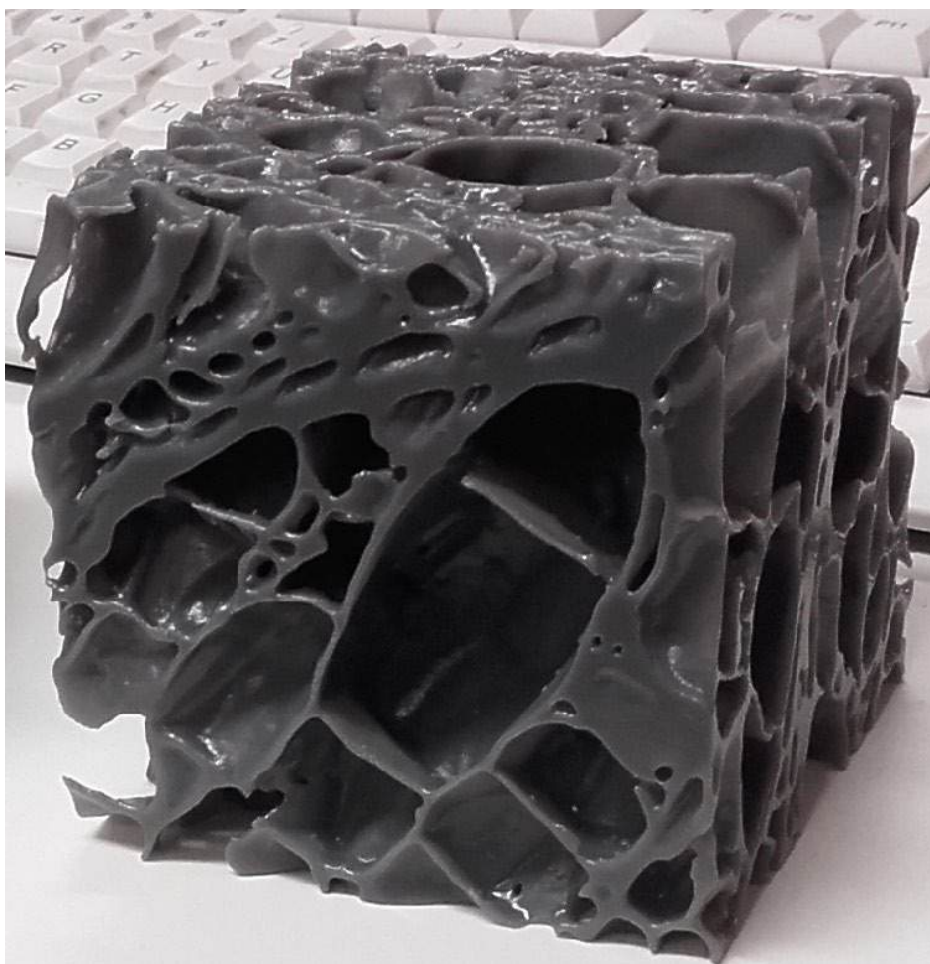
# BIOHIILEN OMINAISUUKSIEN KARAKTERISOINTI JA OMINAIS-PINTA-ALAN MITTAAMINEN

Vuokko Malk & Sari Hyvönen & Noora Haatanen & Kimmo Rasa  
& Aki Mykkänen & Hanne Soininen

Ominaispinta-ala ja huokoisuus ovat biohiilen tärkeimpiä fysikaalisia ominaisuuksia erityisesti puhdistustehokkuuden kannalta. Kyseisten ominaisuuksien mittaamista sekä biohiilen karakterisointia laajemminkin tutkittiin osana Bioproduct and Clean Bioeconomy - RDI FlagShip in Xamk -hanketta. Tarkoituksena on lisätä biotalouteen ja biotuotteisiin liittyvää TKI-toimintaa, päivittää tutkimuslaitteistoa ja kehittää uusia tuotteita ja prosesseja. Toimenpiteiden kautta terävöitetään myös alueen yrityksille tarjottavaa mittaus- ja asiantuntijapalvelutarjontaa. Hankkeen yhtenä osa-alueena on biohiilitutkimus, joka toteutetaan yhteistyössä Luonnonvarakeskuksen (Luke) kanssa. Hanketta (1.10.2018–31.12.2021) rahoittaa opetus- ja kulttuuriministeriö. Savonlinnan Kuitulaboratoriossa olevaan Gemini VII -mittalaitteeseen hankittiin uusi esikäsitteily-yksikkö, jotta se soveltuu paremmin biohiilien ominaispinta-alan mittaamiseen. Tässä artikkelissa tarkastellaan biohiilen huokoisuuden ja ominaispinta-alan mittaamisen erityispiirteitä sekä päivitetyllä laitteistolla tehtyjen alustavien mittausten tuloksia.

## BIOHIILEN OMINAISUUDET JA ERITYISPIIRTEET

Ominaispinta-ala (specific surface area, SSA) ja siihen olennaisesti vaikuttava huokosten kokojakauma ovat eräitä tärkeimmistä biohiilen toiminnallisuutta kuvaavista fysikaalisista parametreista. Huokosrakenteella on merkitystä esimerkiksi siihen, miten biohiili vaikuttaa maaperän vesi- ja ravinnekiertoon sekä mikrobiaktiivisuuteen maanparannuskäytössä (Lehmann & Joseph 2015, Sigmund ym. 2017 mukaan). Mitä suurempi ominaispinta-ala, sitä enemmän biohiilessä on kosketuspintaa maaperän ja kasvien kanssa. Suuri osa vuorovaikutuksesta biohiilen, maaperän, kasvien ja mikro-organismien välillä tapahtuu biohiilen pinnan kautta; esimerkiksi biohiilen pinnalla olevat vetysidokset vastaavat veden adsorptiosta (Albanese ym. 2018). Toisaalta hyödynnettäessä biohiiltä maaperän tai veden puhdistuksessa hiilimateriaalien ominaispinta-ala vaikuttaa niiden kykyyn sitoa esimerkiksi orgaanisia haitta-aineita (Sigmund ym. 2017). Ominaispinta-alan lisäksi biohiilen huokoisuusominaisuuksien määrittämiseksi mitataan usein esimerkiksi huokoskokojakauma ja huokostilavuus.



**KUVA 1.** Röntgentomografiamenetelmällä kuvattu ja 3D-printattu biohiili, jonka raaka-aineena on männynkuori. Kuvassa näkyy biohiilen mikrometrikokoluokan huokosrakenne, joka on peräisin raaka-aineen alkuperäisistä solurakenteista. (kuva Kimmo Rasa)

Biohiilien välillä on havaittu olevan suurta vaihtelua huokoisuudessa ja huokoskokoja-kaumassa (Rasa ym. 2018). Kokonaiskuvan saaminen hiilen huokosrakenteesta on haastavaa, sillä tyypillisesti erikokoisia huokosia ei pystytä määrittämään yhdellä menetelmällä.

Lisähaasteen tuo biohiilen heterogeeninen koostumus. Biohiili sisältää sekä niukasti muuttunutta biomassaa, pyrolyysissä syntyneitä bioöljyä ja kondensaatteja että grafiini- ja grafiittikomplekseja. Mitattavat ominaisuudet voivat olla toiminnallisesti ja määrällisesti erilaisia näissä eri faaseissa. (McLaughlin ym. 2012)

## YLEISIMMÄT MITTAUSMENETELMÄT BIOHIILEN HUOKOISUUDEN MÄÄRITTÄMISEEN

Biohiilen fysikaalisia ominaisuuksia tutkitaan yleisimmin kaasuaSORPTIO-tekniikoilla. Yleisimmin käytetyt menetelmät ovat hiilidioksidiadsorptio alle 2 nm:n kokoisille sub-mikrohuokosille ja typpiadsorptio BET-analyysillä <2 nm:n – 50 nm:n kokoisille mikro- ja mesohuokosille. KaasuaSORPTIOMENETELMÄT eivät kuitenkaan anna kuvaa hiilen mikrometrikokoluokan huokosrakenteesta, joka on keskeinen esimerkiksi kasvien vedenoton kannalta (Rasa ym. 2018, Brewer ym. 2014). Makrohuokosten mittaamiseen käytetään tyypillisesti esimerkiksi elohopeaporosimetriaa. Myös röntgensäde (X-ray) -tomografiaa ja 3D-kuva-analyysejä on hyödynnetty biohiilitutkimuksessa. Lisäksi biohiilen huokoisuuden määrittämiseen on käytetty pyknometriaa (Brewer ym. 2014) ja tiheysperusteisia mittaamenetelmiä (Liu ym. 2017).

Sekä EBC (European Biochar Certificate) että IBI (International Biochar Initiative) suosittelevat typpiadsorptio BET -menetelmää biohiilen ominaispinta-alan mittaamiseen (EBC 2015, IBI 2015, Sigmund ym. 2017 mukaan). BET-ominaispinta-ala onkin yleisesti käytetty parametri kuvaamaan biohiilen huokoisuusominaisuuksia, mutta sen rinnalla käytetään tutkimustarpeesta riippuen useita muita menetelmiä, kuten elektronimikroskopiaa (SEM), röntgenmenetelmiä (EDX, XRD) ja FTIR-analyysejä. Eri menetelmät täydentävät toisiaan rakenteellisten ominaisuuksien määrittämisessä.

### BET-OMINAISPINTA-ALA

BET-menetelmä on parhaiten tunnettu ja useimmin käytetty menetelmä ominaispinta-alan määrittämiseen. Menetelmä perustuu Stephen Brunauerin, Paul Hugh Emmettin ja Edward Tellerin 1938 julkaisemaan teoriaan. Kuiva, huokoinen materiaali tasapainotetaan tunnetulla määrällä typpikaasua ja muodostetaan kokeellinen adsorptio-isotermi 77 K:n (–196 °C) lämpötilassa, joka on nestetyypen kiehumispiste. BET-yhtälö yhteensovitetaan kokeellisen adsorptio-isotermin kanssa. Ominaispinta-ala (m<sup>2</sup>/g) määritetään pisteessä, jossa huokosten pinta on peittynyt yhdellä kerroksella typpimolekyylejä. Tästä voidaan laskea ominaispinta-ala. (McLaughlin ym. 2012) Tyypillisesti BET-yhtälö on validi suhteellisen paineen alueella 0,05–0,3 (ISO-9277:2010).

BET-yhtälöä ei ole alun perin kehitetty biohiilen kaltaisille huokoisille materiaaleille, joten menetelmään liittyy heikkouksia. Vaikka huokoisille materiaaleille on myöhemmin kehitetty omia malleja, BET-ominaispinta-ala on edelleen avainparametri biohiilien ja aktiivihiilen karakterisoinnissa. (Sigmund ym. 2017) BET-analyysiin on olemassa kansainvälinen standardi ISO-9277:2010.

## ESIKÄSITTELY (DEGASSING)

Ennen varsinaista analyysiä näytteet tyypillisesti esikäsitellään tyhjiökäsittelyllä eli kosteus ja muut fysikaalisesti adsorboituvat haihtuvat materiaalit poistetaan materiaalin pinoilta ennen analyysiä (degassification) (Sigmund ym. 2017). Biohiilille suositellaan ilman poistamista huokosista vakuumin avulla, mutta kirjallisuudesta löytyy julkaisuja, joissa esikäsitteily on tehty typpivirralla (esim. Ronsse ym. 2012) tai esikäsitteilyä ei ole kuvattu lainkaan.

Käsittelylämpötilalla on vaikutusta lopullisiin mittaustuloksiin, koska hiiltemättä jääneet orgaaniset fraktiot voivat haihtua esikäsitteilyvaiheessa. Suosituslämpötilat kuitenkin vaihtelevat EBC- ja IBI-ohjeissa. Lämpötilan tulisi olla riittävän alhainen, jotta se ei aiheuta muutoksia näytteessä. Toisaalta liian alhaisessa lämpötilassa tiukasti sitoutunut vesi ei poistu huokosista. Sigmund ym. (2017) suosittelevat biohiilille degassing-lämpötilaksi 105 °C:ta. Esikäsitteilyä jatketaan, kunnes painomuutoksia ei havaita ja tasapainotila oletetaan saavutetuksi. EBC:n (2012) ohjeissa kuivauksen ja degassing-vaiheen lämpötilaksi ohjeistetaan 150 °C ja kestoksi kaksi tuntia. Ohjeiden mukaisesti BET-analyysi tehdään noin 250 grammasta kuivattua ja murskaamatonta biohiilinäytettä. Kaikilla mittalaitteilla tämä murskaamattomien näytteiden analysoiminen ei kuitenkaan ole mahdollista. Esimerkiksi Xamkin BET-mittalaitteessa (Micromeritics, Gemini VII) olevien näyteputkien paksuus on vain noin 5 mm. Monissa biohiilissä palakoko on tätä suurempi, joten näytteet pitää murskata ennen analyysiä.

Biohiilien huokoisuusmittauksissa esikäsitteilyllä on erityisen tärkeä merkitys. Biohiilet sisältävät öljyä, joiden puhdistaminen huokosista on haastavaa. Huokokset on tärkeä saada täysin puhtaiksi ja kuiviksi ennen huokoisuusmittauksia, jotta öljyt eivät vääristäisi lopputulosta. (Puro 2019)

Esikäsitteilyn jälkeen adsorptiokaasu (esim. N<sub>2</sub> tai CO<sub>2</sub>) johdetaan suljettuun näyteastiaan vakioilämpötilassa. Paine näyteastiassa mitataan, ja paineen muutokset kertovat näytteeseen adsorboituneen N<sub>2</sub>- tai CO<sub>2</sub>-kaasun määrän. (Sigmund ym. 2017)

## TESTATTAVIEN BIOHIILTEN OMINAISUUKSIA

Biohiilen BET-ominaispinta-alan mittaaminen tehtiin yhteistyössä Huky – Hulevesien käsittelyn T&K-ympäristö (A74988) -hankkeen kanssa. Huky on Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulun ja Mikkelin kehitysyritys Miksei Oy:n yhteishanke, jota rahoittavat Etelä-Savon ELY-keskus Euroopan aluekehitysrahastosta ja Mikkelin kaupunki. Testattavana olevia biohiiliä käytetään Huky-hankkeen hulevesien käsittelyjärjestelmässä (kuva 2).





**KUVA 2.** Huky-hankkeessa tehdään tutkimusta hulevesien puhdistamisesta erilaisilla biohiilillä (kuva Manu Eloaho).

Seuraavassa taulukossa 1 on esitetty testattavien biohiilten käsittelylämpötiloja ja niiden laatua. Testattavat biohiilten raaka-aineet olivat puuperäisiä.

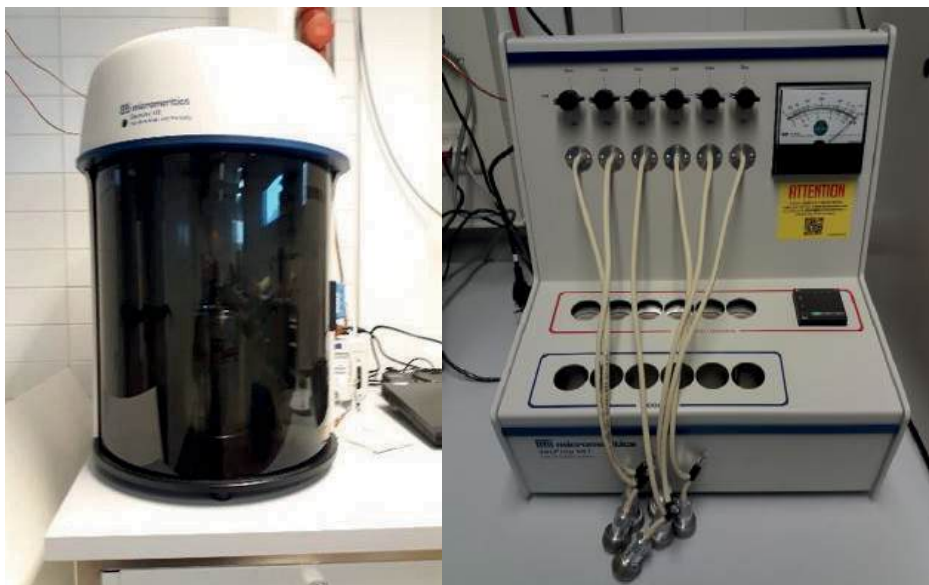
**TAULUKKO 1.** Testattavien biohiilten ominaisuuksia.

Biohiilen raaka-aine	Palakoko	Hiiltämis-lämpötila	Sertifiointi
Kuusi-koivu	Seulottu 5-10 mm	600 °C	PEFC-sertifioitu
Sekalehtipuu	Seulottu 5-10 mm	420 °C	Ei sertifiointia

## BIOHIILEN BET-OMINAISPINTA-ALAN MITTAAMINEN XAMKIN LAITTEISTOLLA

Kahden puusta valmistetun biohiilinäytteen BET-ominaispinta-ala mitattiin Xamkin Savonlinnan kuitulaboratoriossa. Biohiilinäytteet oli valmistettu eri puulajeista (kuusi-koivu ja sekalehtipuu). Lisäksi vakuumiesikäsittely-yksikön vaikutusta mittaustuloksiin tutkittiin käyttämällä kaupallista kivihiilestä valmistettua granulaarista aktiivihiiltä, Sorbotech® LG 85.

Ominaispinta-alan mittaamiseen käytettiin Micromeritics Gemini VII BET -analysaattoria sekä VacPrep 061 Degasser -esikäsittely-yksikköä (kuva 3).



**KUVA 3.** Micromeritics Gemini VII BET -analysaattori (vasen) ja VacPrep 061 Degasser -esikäsitely-yksikkö (oikea) (kuvat Sari Hyvönen).

BET-mittausta varten biohiilinäytteet jauhettiin iskujauhavalla IKA MF 10.2 -myllyllä. Näytteet jauhettiin kolme kertaa pienentäen poistoputken seulan silmäkokoja joka kerralla. Seulojen silmäkoot olivat 2 mm, 1 mm ja viimeisenä 0,5 mm.

Näytteenotto jauhetusta materiaalista pyrittiin tekemään mahdollisimman heterogeenisesti, jotta saataisiin näytettä koko partikkelikokojakaumasta. Vakuumiesikäsitely aloitettiin punnitsemalla näytettä BET-analysaattorissa käytettävään näyteputkeen, jonka paino oli punnittu tyhjänä. Putkeen punnittiin näytettä noin 0,5 g. Näytteen punnitsemisen jälkeen näyteputki siirrettiin VacPrep-esikäsitely-yksikköön, jossa putkeen imettiin vakuumi. Huoneenlämmössä vakuumin annettiin tasaantua putkessa noin 10 minuuttia, ennen kuin näyteputkia lämmitettiin kaksi tuntia, tässä tapauksessa lämpötilassa 150 °C. Lämmityksen jälkeen putki jäähdytettiin huoneenlämpöiseksi ja punnittiin ennen mittausta, minkä jälkeen näyte oli mitauskunnossa.

Vertailun vuoksi tehtiin toinen näyte ilman VacPrep-esikäsitelyä. Siinä punnittiin putkeen tunnettu määrä näytettä, joka oli ollut yön yli lämpökaapissa 105 C°:ssa.

Molemmat näytteet mitattiin samoissa olosuhteissa Micromeritics Gemini VII BET -analysaattorilla. Käytetty evakuointiaika (evacuation rate) eli vakuumin muodostamisen tehokkuus oli 100,0 mmHg/min, ja tasapainoaika (equilibration time) eli aika, jonka ajan mitatun arvon tulee pysyä vakiona ennen lopullista tulosta, oli 20 sekuntia. Tarkat ajoajat on esitetty taulukossa 2.

**TAULUKKO 2.** BET-mittauksen ajoajat esikäsitellyllä ja ilman.

Näyte	Mittausaika ilman esikäsitelyä (näyte 1/2/3)	Mittausaika esikäsitellyllä (näyte 1/2/3)
SORBOTECH LG-95	2 h 33 min / 2 h 28 min	2 h 32 min / 2 h 30 min
Sekalehti	2 h 52 min / 2 h 11 min / 2 h 19 min	2 h 2 min / 2 h 14 min
Kuusi-koivu	7 h 31 min / 7 h 3 min	6 h 30 min / 7 h 32 min

## TULOKSET

Mittauksissa esikäsitely-yksikön vaikutus oli selkeämmin nähtävissä kivihiihlopohjaisilla hiilillä kuin biohiilillä. Kivihiihlopohjaisen kaupallisen Sorbotech LG85 -aktiivihiihen ominaispinta-ala ilman esikäsitelyä oli vajaa 800 m<sup>2</sup>/g ja esikäsitelyn kanssa noin 860 m<sup>2</sup>/g. Tämä tulos tukee teoriaa, että esikäsitely puhdistaa näytettä epäpuhtauksista, jotka estävät BET-analyysissä typpikaasun reagointia/adsorptiota. Näin ollen todellinen ominaispinta-ala on puhdistetulla näytteellä suurempi. Kyseisen referenssihiilen tuotetiedoissa ominaispinta-alaksi annettiin viitteellinen luku 900 m<sup>2</sup>/g, joten saatu mittaustulos oli hyvinkin tarkka.

Biohiilien osalta havaittiin isoja eroja ominaispinta-alassa, mutta ei merkittävää vaikutusta esikäsitelystä mittaustulokseen. Sekalehtipohjaisella biohiilellä ominaispinta-ala vaihteli 5–9 m<sup>2</sup>/g. Suuruusluokka on aikaisempien matalan pyrolyysilämpötilan tuotteilla esimerkiksi pajusta tehtyjen biohiilien kanssa samalla tasolla (Rasa ym. 2018). Vakuumiesikäsitelyn vaikutus ei ollut selkeästi havaittavissa näillä hiilillä (ks. taulukko 3). Kyseinen sekalehtibiohiili oli partikkelikooltaan jopa kymmeniä millimetrejä, minkä vuoksi se täytyi ennen analysointia murskata. Oletettavasti myös näytteen murskaaminen vaikuttaa ominaispinta-alaan ja aiheuttaa vaihtelua mittaustuloksessa. Myös näytteen huokoskokojakauma voi vaikuttaa tulokseen. Mikäli kyseisen sekalehtibiohiilinäytteen huokokset painottuvat juuri suurempiin mikrometrikokoluokan huokosiin, myös valittu ominaispinta-alan mittaustulosmenetelmä, BET-menetelmä, voi vaikuttaa tulokseen. Kuten aikaisemmin kuvattiin, kaasuaSORPTIOMENETELMÄ ei sovellu suurempien huokosten mittaamiseen.

**TAULUKKO 3.** Ominaispinta-ala mitatuille näytteille.

Hiilinäyte	Esikäsitteily		Ilman esikäsitteilyä		
	Rinnakkaisnäyte1 [m <sup>2</sup> /g]	Rinnakkaisnäyte2 [m <sup>2</sup> /g]	Rinnakkaisnäyte1 [m <sup>2</sup> /g]	Rinnakkaisnäyte2 [m <sup>2</sup> /g]	Rinnakkaisnäyte3 [m <sup>2</sup> /g]
Sorbotech LG85 (kivihiili)	857.7699 ± 15.6191	864.5195 ± 16.4451	794.3118 ± 15.2521	779.3510 ± 14.5268	-
Seka-lehti	5.6968 ± 0.0696	5.1453 ± 0.0910	9.6043 ± 0.1394	5.9502 ± 0.1029	7.2189 ± 0.0859
Kuusi-koivu	268.4775 ± 5.9065	263.8170 ± 5.9407	263.0204 ± 6.0331	256.5319 ± 5.8156	-

Toinen testattu biohiilinäyte oli kuusi/koivupohjainen. Sen ominaispinta-ala oli sekalehtinäytettä suurempi, 260 m<sup>2</sup>/g. Tällä hiilellä esikäsitteilyn vaikutus oli myös mitätön ja hukkuu virhemarginaaliin. Tutkittavien näytteiden määrä oli hyvin rajallinen. Vaikka jokaiselle näytteelle tehtiin useita rinnakkaisia mittauksia, ei tulosten valossa voida kommentoida esikäsitteilyn vaikuttavuudesta mitään yleistä. Erillinen esikäsitteily-yksikkö toki vähentää tekijäriippuvaista vaihtelua näytteen käsittelyssä ja itse BET-analyysin suorittamisessa ja näin vakauttaa tulosta.

Tulokset osoittavat hyvin, että ominaispinta-ala voi vaihdella huomattavasti eri biohiilien välillä, ja tämä on tärkeä huomioida sovelluskohteiden suunnittelussa.

## YHTEENVETO

Selvitystyössä kartoitettujen ominaispinta-alan määrittämiseen käytettävien mittalaitteiden osalta päädyttiin lopulta BET-menetelmään. Kyseinen menetelmä on rajoituksistaan huolimatta hyvin yleisesti käytetty ja ns. standardi suure. Kuitulaboratorioon investoitu BET-mittalaite sekä sitä täydentävä VacPrep-vakuemiesikäsitteily-yksikkö mahdollistavat myös biohiilien ominaispinta-alan mittaamisen luotettavasti ja tarkasti nanometrikokoluokan huokosien osalta. Mittausjärjestelyjä suunniteltaessa on kuitenkin ensiarvoisen tärkeää ottaa huomioon tutkittavan näytteen oletettu huokoskokojakauma sekä tarvittaessa täydentää BET-mittauksista myös muilla vaihtoehtoisilla menetelmillä. On myös tärkeää ymmärtää, että niin ominaispinta-ala kuin huokoskokojakauma voivat vaihdella huomattavasti eri biohiilien välillä, ja tämä on huomioitava sovelluskohteiden suunnittelussa.

## LÄHTEET

Brewer CE, Chuang VJ, Masiello CA, Gonnermann H, Gao X, Dugan B, Driver LE, Panzacchi P, Zygourakis K, Davies CA 2014. New approaches to measuring biochar density and porosity. *Biomass and Bioenergy* 66: 176–185.

EBC 2012. 'European Biochar Certificate - Guidelines for a Sustainable Production of Biochar.' European Biochar Foundation (EBC), Arbaz, Switzerland. WWW-dokumentti. Saatavissa: <http://www.europeanbiochar.org/en/download>. Version 8.3E of 1st September 2019, DOI: 10.13140/RG.2.1.4658.7043

ISO-9277:2010. Determination of the specific surface area of solids by gas adsorption – BET method.

Liu Z, Dugan B, Masiello CA, Gonnermann HM 2017. Biochar particle size, shape, and porosity act together to influence soil water properties. *PLoS ONE* 12(6): e0179079. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0179079>

McLaughlin H, Shields F, Jagiello J, Thiele G 2012. Analytical Options for Biochar Adsorption and Surface Area. Presented at the 2012 US Biochar Conference session on Char Characterization.

Puro L 2019. Henkilökohtainen tiedonanto 28.10.2019. Analyysi-insinööri, Lappeenranta-Lahden teknillinen yliopisto LUT.

Rasa K, Heikkinen J, Hannula M, Arstila K, Kulju S, Hyväluoma J 2018. How and why does willow biochar increase a clay soil water retention capacity? *Biomass and Bioenergy* 119: 346–353.

Ronsse F, van Hecke S, Dickinson D, Prins W 2012. Production and characterization of slow pyrolysis biochar: influence of feedstock type and pyrolysis conditions. *GCB Bioenergy* 5: 104–115. doi: 10.1111/gcbb.12018

Sigmund G, Hüffer T, Hofmann T, Kah M 2017. Biochar total surface area and total pore volume determined by N<sub>2</sub> and CO<sub>2</sub> physisorption are strongly influenced by degassing temperature. *Science of the Total Environment* 580: 770–775.

# BIOHIILESTÄ VOIMAA METSITTÄMISEEN JA BIO- KAASUN PUHDISTUKSEEN

Niina Laurila & Hanne Soininen

Biohiilellä puhdasta kaasua ja kasvuvoimaa -hankkeen tavoitteena on kehittää biohiili-pohjaisia tuoteaihoita parantamaan maaperän hiilisisäntää ja vedenpidätyskykyä sekä tehostaa metsänkasvatusta uusien menetelmin. Hankkeen toimenpiteillä tehostetaan myös kaatopaikka- ja biokaasujen käsittelyä. Hankkeen toteutusaika on 1.1.2020–31.12.2021. Hanketta rahoittavat Etelä-Savon ELY-keskus Euroopan aluekehitysrahastosta, Suur-Savon energiasäätiö sr sekä Metsäsairila Oy.



**KUVA 1.** BioGo-hanke tutkii biohiilen käyttöä vaikeiden kohteiden metsittämisessä sekä biokaasun epäpuhtauksien poistossa (kuva Manu Eloaho).

## ILMASTOSOPIMUKSEN TAVOITE

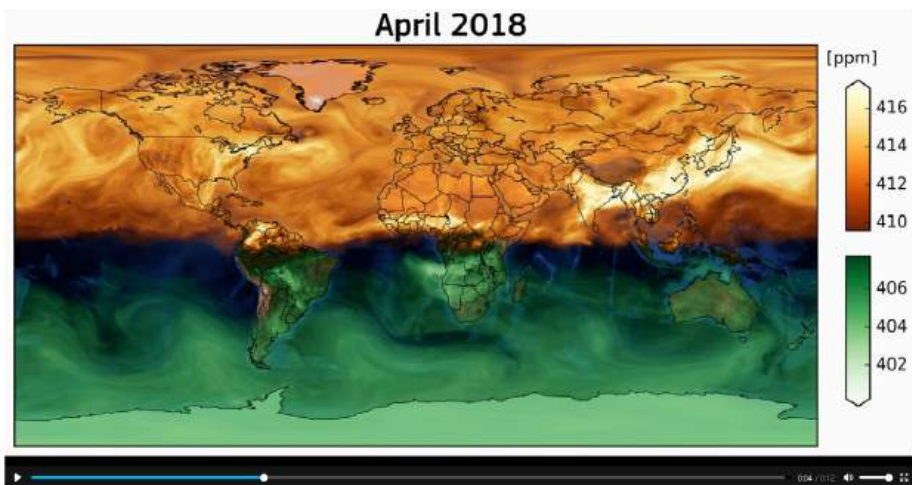
Suomi on sitoutunut Pariisin ilmastopöytäkirjaan, jonka tavoitteena on hillitä maapallon lämpenemisen alle 1,5 asteeseen. Tavoitteeseen pääseminen vaatii kasviuonekaasujen vähentämistä ja siirtymistä vähähiiliseen kehitykseen. Hiilidioksidi on merkittävin il-

mastonmuutosta aiheuttava kasvihuonekaasu, jonka lähteitä ovat fossiiliset polttoaineet, metsäkato sekä teollisuus. Noin 75 prosenttia hiilidioksidista on peräisin fossiilisten polttoaineiden käytöstä, joiden käyttöä pyritään Pariisin ilmastopimuksen tavoitteen mukaisesti hillitsemään. Ilmakehän hiilidioksidia voidaan vähentää myös sitomalla sitä biomassaan.

Finnfundin on vuoden 2017 Impact-raportissaan todennut, että biomassan kyky sitoa hiilidioksidia on kustannustehokkain menetelmä ilmakehän hiilidioksidin vähentämiseen. Finnfundin metsäinvestoinnit sitoivat hiilidioksidia 8 460 tonnia yhtä investoitua miljoonaa euroa kohden. Uusiutuviin energioihin tehdyt investoinnit vähensivät puolestaan hiilidioksidia 911 tonnia sijoitettua miljoonaa euroa kohden. Ero on huomattava. (FinFund 2017)

## METSÄN VAIKUTUS ILMASTON HIILIDOKSIDIMÄÄRIIN

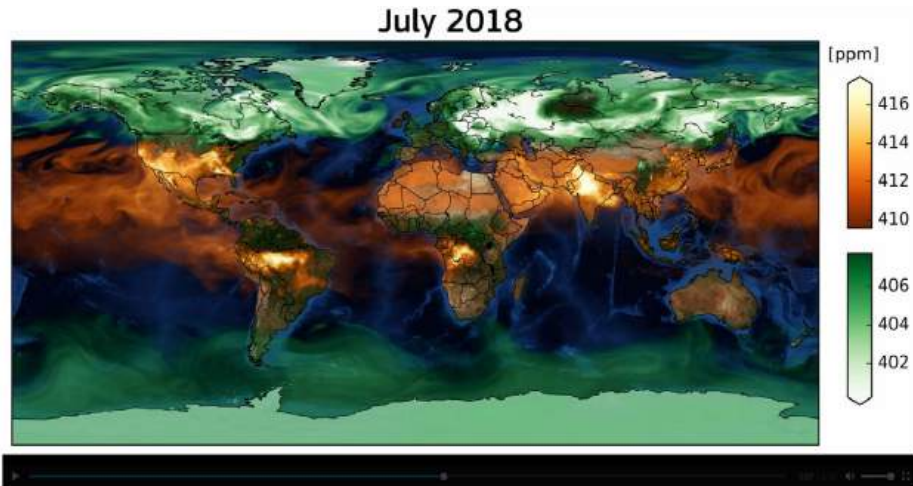
Metsän ja biomassan vaikutus ilmaston hiilidioksidimääriin on hyvin havaittavissa Copernicus Atmosphere Monitoring Servicen (CAMS) tuottamasta aineistosta, jossa käsitellään hiilidioksidin kiertoa maapallolla vuonna 2018. Hiilidioksidin määrä vaihtelee maapallolla. Suurimmat hiilidioksidimäärät mitataan keväisin pohjoiselta pallonpuoliskolta (kuva 2). Mitatut CO<sub>2</sub>-pitoisuudet vaihtelevat 410–416 ppm. Suurimmat arvot mitataan Aasiasta (Kiina, Intia). Eteläisellä pallonpuoliskolla pitoisuudet ovat pienemmät hiilidioksidiarvojen ollessa 402–406 ppm. Pienempi hiilidioksidimäärä eteläisellä pallonpuoliskolla selittyy kasvien ja puiden fotosynteesillä. (Copernicus Atmosphere Monitoring Service 2019)



**KUVA 2.** Mallinnus ilmakehän hiilidioksidista huhtikuussa 2018 (mukailten Copernicus Atmosphere Monitoring Service 2019).

Hiilidioksidipitoisuudet laskevat ilmakehässä pohjoisella pallonpuoliskolla, kun kasvien ja kasviplanktonien fotosynteesi käynnistyy keväällä (kuva 3). Alimmat CO<sub>2</sub>-pitoisuudet

mitataan kesäisin linjalta Pohjois-Amerikka – Eurooppa – Venäjä (CO<sub>2</sub>-pitoisuus 402–406 ppm). Tällöin kasvien ja kasviplanktonien yhteyttäminen on kiivainta. Akselilla Väli- ja Pohjois-Amerikka – Afrikka – Lähi-itä – Aasia mitattiin korkeampia hiilidioksidipitoisuuksia (CO<sub>2</sub>-pitoisuus 410–416 ppm). Sekä Etelä-Amerikasta että Afrikasta löytyy alueita, joissa hiilidioksidimäärät ovat korkeita kesäisin (CO<sub>2</sub>-pitoisuus yli 416 ppm). Etelä-Amerikassa syy tähän on sademetsän poltto, jota tehdään kesäisin. (Copernicus Atmosphere Monitoring Service 2019)



**KUVA 3.** Biomassa sitoo tehokkaasti ilmakehän hiilidioksidia (lähde mukailen Copernicus Atmosphere Monitoring Service 2019).

Vaikka hiilidioksidipitoisuus laskee kesän aikana, jatkuu hiilidioksidin kerääntyminen ilmakehässä. Tämä tarkoittaa sitä, ettei nykyisellä kasvimäärällä pystytä vastaamaan ihmisen toiminnasta johtuvaan hiilidioksidimäärään kasvuun.

## KEINOJA PÄÄSTÖJEN HALLINTAA – BIOHIILI METSÄN KASVATUKSESSA

Suomen kannalta metsäpinta-alan kasvattaminen voisi olla yksi vartenotettava keino Suomen nettopäästö tavoitteen saavuttamisessa. Käytännössä tämä tarkoittaa, että käyttöön otettaisiin myös puun kasvattamiseen huonosti sopivat maa-alueet käyttöön. Metsällä onkin monta roolia ilmastonmuutoksen hidastamisessa, sillä metsän on mahdollista toimia hiilidioksidin sitojana ja varastona samalla, kun se heijastaa auringonsäteilyä. Metsien haihdunta myös viilentää ilmastoa paikallisesti (Helsingin yliopisto ym.).

Suomessa on paljon alueita, joissa puun kasvu on huonoa. Kaivostoiminnasta ja turvetuotannosta vapautuneet sekä eroosiosta kärsineet alueet ovat hyvä esimerkki tällaisista alueista. Puun kasvattaminen karussa ja ravinneköyhässä maassa vaatii maaperän rikastamista



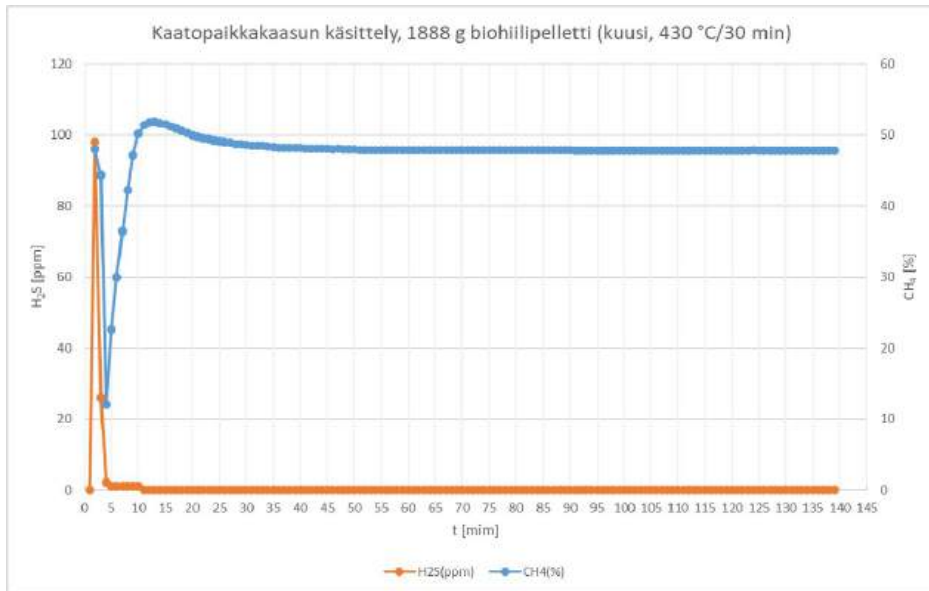
taimien kasvun turvaamiseksi. Biohiilipohjaisilla kasvupalloilla voidaan varmistaa taimille ravinnerikas kasvualusta.

Kasvupallo on pallo, jossa biohiilen ja siemenen lisäksi käytetään savea ja ravinteita. Biohiili-savi-ravinneseos antaa siemenelle kasvun lisäksi suojaa muun muassa linnuilta. Biohiilen avulla siemenen on mahdollista saada sen kasvuun tarvitsema kosteus. Kasvupallon toimivuutta on lähinnä testattu muun muassa Keniassa. Kasvupallojen käytettävyyttä pohjoisilla alueilla ei tutkittu, joten hankkeen tuloksena saadaan uutta tietoa biohiilipohjaisten kasvupallojen soveltuvuudesta erilaisiin ympäristöolosuhteisiin. Kasvupalloissa tullaan käyttämään pioneeripuulajia.

## PUHDASTA KAASUA BIOHIILEN AVULLA

Toteutettavassa hankkeessa selvitetään myös biohiilen soveltuvuutta kaatopaikka- ja biokaasulaitosten kaasun käsittelyssä. Tavoitteena on korvata kivihiilipohjainen suodatusmateriaali kestävämmällä biopohjaisella tuotevaihtoehdolla. Suodatusmateriaalina biohiili on kivihiiltä edullisempi, jolloin saavutetaan kustannustehokkaammat kaasujen puhdistusratkaisut.

Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu on aiemmin tutkinut biohiilen suodatuskykyä rikkivedyn poistossa laboratorio-olosuhteissa (kokeet puhtailla rikkivetysesoksilla) sekä tuotantolaitoksilla (raakakaasukokeet). Kaatopaikan raakakaasun kokeessa käytettiin kuudesta 430 °C:n lämpötilassa (30 min) valmistettua biohiiltä 1,9 kg:n verran. Tällä määrällä pystyttiin puhdistamaan raakakaasu rikkivedystä, jonka lähtöpitoisuus oli 98 ppm (kuva 3). Lähtöpitoisuuden mitaamisen jälkeen laitteisto kytkettiin suodatusyksikköön, mikä aiheutti mitattuihin tuloksiin notkahduksen. Ensiksi suodatinyksiköstä poistui siinä oleva ilma, minkä jälkeen mitattiin tutkittavaa kaasua. Rikkivedyn määrä kaasussa väheni suodatuksen ansiosta ensin 1 ppm, ja 11 minuutin kohdalla koetta H<sub>2</sub>S-pitoisuus kaasussa oli 0 ppm. Raakakaasun metaanipitoisuus vaihteli kokeen aikana 48–52 prosenttia. Tehdyllä 140 minuutin kokeella osoitettiin, että biohiili pystyi suodattamaan raakakaasusta rikkivedyn.



**KUVA 3.** Jäteaseman raakakaasua puhdistettiin onnistuneesti biohiilellä (Saario & Laurila 2019).

Biokaasun sisältämien muiden haitta-aineiden vaikutusta biohiilen suodatustoimivuuteen ei tehdyillä kokeilla selvitetty. Nyt BioGo-hankkeessa tehtävillä kokeilla selvitetään biohiilen suodatustehokkuus rikkivedyn lisäksi hiilimonoksidin, siloksaanien ja ammoniakkin suhteen. Kokeissa käytettävän biohiilen kyllästyspotentiaali selvitetään myös.

## BIOGO-HANKE EDISTÄÄ VÄHÄHIILISYYTTÄ

Hankkeen tuloksena saadaan tietoa muun muassa eri seosmateriaalien käyttäytymisestä erilaisilla kasvualustoilla, sementin itävytydestä sekä taimen kestävydestä. Saaduilla tuloksilla voi olla merkittävä vaikutus metsitykseen käytettävän materiaalin valinnassa, metsityksen onnistumiseen vaativilla kohteilla ja tätä kautta hiilen sidontaan maaperässä. Biokaasun demonstraatio-suodatuskokeilla saadaan tietoa biohiilen suodatustehokkuudesta ja siihen vaikuttavista ominaisuuksista kaatoapaikka- ja biokaasun epäpuhtauksien poistamisessa sekä edistetään fossiilisten materiaalien korvaamista biopohjaisella tuotteella. Hankkeen tuloksilla on mahdollista tukea Suomen nettonollapäästötavoitteen saavuttamista.

## LÄHTEET

Copernicus Atmosphere Monitoring Service (CAMS) 28.5.2019. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://atmosphere.copernicus.eu/carbon-dioxide-levels-are-rising-it-really-simple>. [Viitattu 7.7.2020].

Finnfund 2017. Impact report 2017. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://www.finnfund.fi/wp-content/uploads/2019/05/Impact-report-2017.pdf> [viitattu 3.7.2020].

Helsingin yliopiston Ilmakehätieteiden keskuksen (INAR) & Helsingin yliopiston Metsätieteiden yksikökkö & ohjelmistoyritys Simosoli Oy ja kuvataiteilija Terike Haapoja. Yhteistyöhanke Hiilipuu.fi. WWW-dokumentti. Saatavissa: <http://www.hiilipuu.fi/fi/artikkelit/metsien-merkitys>. [Viitattu 6.7.2020].

Saario, T. & Laurila, N. 2019. Biohiili prosessikaasujen puhdistajana. Teoksessa Laurila N. (toim.). Biohiilellä puhtaampi ympäristö ja uutta liiketoimintaa Etelä-Savoon. Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulun julkaisusarja Xamk kehittää, osa 74.

# ENERGIANTUOTANTOLAITOSTEN PÄÄSTÖMITTAUKSET

Juha Vihavainen & Niina Laurila

Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulun toteuttamassa NOxOpti – Energiantuotantoyksiköiden päästöjen monitorointi ja hallinta -hankkeessa selvitetään Etelä-Savon keski suurten (1–50 MW) energiantuotantoyksiköiden savukaasupäästöjen nykytila ja selvitetään keinoja typpi- ja rikkipäästöjen pienentämiseksi. Polttoaineena mittaushetkillä käytetään puupolttoaineita, turvetta tai niiden seoksia. Artikkelissa käsitellään Suur-Savon Sähkö Oy:n energiantuotantolaitoksilla toteutettuja päästömittauksia ja saatuja tuloksia. NOxOpti-hanketta rahoittaa Etelä-Savon ELY-keskus Euroopan aluekehitysrahastosta, Tiina ja Antti Herlinin säätiö sekä Etelä-Savon Energia Oy. Hankkeen toteutukseen osallistuvat Suur-Savon Sähkö Oy, Savcor Oy ja Tassu ESP.

## MITTAUKSISSA KÄYTETTY LAITTEISTO

Hankkeella on käytössä Xamkin ympäristölaboratorion gravimetrinen hiukkasten Dr Födisch GMD 12 -mittausjärjestelmä sekä savukaasuanalysaattori. Kuvassa 1 näkyvät päästömittauslaitteistot mittausten aikana.



**KUVA 1.** Päästömittausta energiantuotantolaitoksella (kuva Juha Vihavainen).

Testo 350 -merkkisellä savukaasuanalyysaattorilla määritetään savukaasujen rikki- ja typipäästöt. Hiukkasten mittausjärjestelmä sisältää sondit ja käyttöjärjestelmän, jolla pystytään tekemään kaikki tarvittavat apumittaukset (kaasun kosteus, nopeus, mittauspisteet) hiukkaspitoisuuden määrittystä varten.

## PÄÄSTÖMITTAUKSET SUUR-SAVON SÄHKÖN TUOTANTOLAITOKSILLA

Suur-Savon Sähköllä on 11 laitosta Etelä-Savon alueella, ja ne käyttävät polttoaineenaan turvetta tai puuta. Taulukossa 1 on esitetty laitokset, jossa päästömittaukset on tehty jo hankkeessa.

**TAULUKKO 1.** Suur-Savon Sähkön laitosten perustiedot.

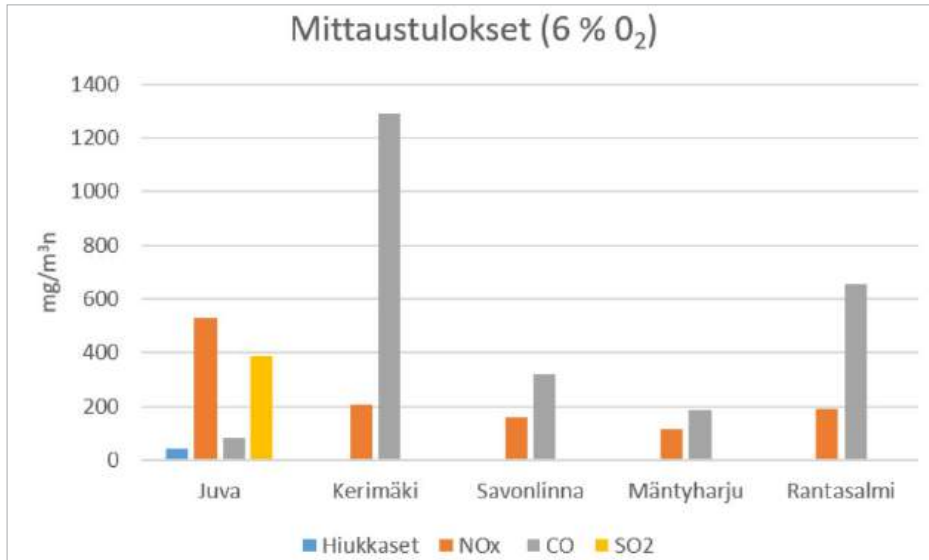
Sijainti-kunta	Teho (MW)	Kattilatyyppi	Suodatus-ratkaisu	Pääasiainen polttoaine
Juva	8	Leijukerrospeti	Sähkösuodatin	Jyrsinturve
Kerimäki	4	Kekoarina	Multisykloni	Puu
Mäntyharju	8	Mekaaninen viistoarina	Sähkösuodatin	Puu
Rantasalmi	5,5	Kekoarina	Sähkösuodatin	Puu
Savonlinna, Laitaatsilta	18	Kupliva leijupeti	Sähkösuodatin	Ranka- ja metsätähdehake

Ennen päästömittauksia selvitettiin laitoksen tehokuorma ja kuorman tasaisuus mittausajankohtana, arvioitu hiukkaspäästötaso ( $\text{mg}/\text{m}^3$ ) sekä mittausyhteen ja kanavan mitat mittauspisteiden määrittystä varten. Arvio laitoksen keskimääräisestä hiukkaspäästötasosta olisi suotavaa olla tiedossa ennen mittauksia, koska se vaikuttaa näytteenottoaikaan ja imettävän kaasun määrään. Jos hiukkaspäästötaso on erittäin korkea, käytetään lyhempiä mittausaikoja jo suodattimen kestävyden takia. Pienemmillä kuormilla pidennetään mittausaikoja, jotta suodattimelle kertyy enemmän näytemassaa. Näytteenottoaika vaikuttaa myös mittausepävarmuuteen. Standardin SFS-EN 13284-1 mukaan näytemassan määrityksen epävarmuuden on oltava alle viisi prosenttia PIPO-asetuksen mukaisesta raja-arvosta. (VTT 2007)

Mittauspaikalla ennen varsinaisia päästömittauksia määritettiin kanavassa kulkevan savukaasun kosteus ja nopeus. Määritykset tehtiin hiukkasmittausjärjestelmään kuuluvalla Pitot-putkella sekä kosteusanturilla. Kaasun nopeuden perusteella määritettiin myös sopivan kokoinen suutin sondiin, jotta imu on isokineettistä, eli laite imee kaasua samalla nopeudella kuin kaasu kulkee kanavassa.

## TULOKSET

Kuvassa 2 on esitetty mittaustulokset Suur-Savon Sähkön laitoksilla. Kuvassa näkyvät hiukkas-, NO<sub>x</sub>-CO- ja SO<sub>2</sub>-pitoisuudet (mg/m<sup>3</sup>n) redusoituna kuuden prosentin happipitoisuuteen.



**KUVA 2.** Mittaustulokset redusoituna kuuden prosentin happipitoisuuteen (kuva Juha Vihavainen).

Taulukossa 2 on esitetty tarkat arvot mittaustuloksista. Mittausepävarmuus hiukkaspitoisuudessa on ± 30 prosenttia, NO<sub>x</sub>-, CO- ja SO<sub>2</sub>-pitoisuuksissa ± 20 prosenttia. Joidenkin kohteiden mittauspaikat olivat ahtaita, joten joka kohteesta ei voitu tehdä hiukkasmäärityksiä mittaussäätteen sondin pituuden vuoksi (1,1 m). Mittaustulokset on redusoitu kuuden prosentin happipitoisuuteen, jotta ne ovat vertailukelpoisia PIPO-asetuksen mukaisen siirtymäkauden raja-arvon kanssa. Suluissa oleva luku merkitsee raja-arvoa.

**TAULUKKO 2.** Mittaustulokset redusoituna kuuden prosentin happipitoisuuteen. Suluissa PIPO-asetuksen raja-arvot.

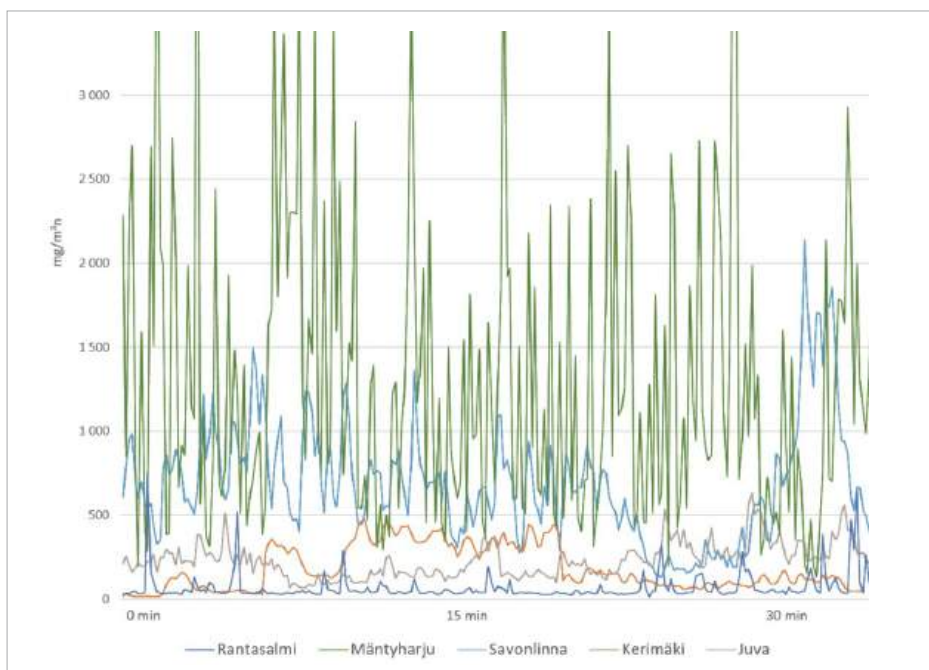
Sijaintikunta ja laitoksen keskimääräinen kuorma (%) mittauksien aikana	Hiukkaset (mg/m <sup>3</sup> n)	NO <sub>x</sub> (mg/m <sup>3</sup> n)	SO <sub>2</sub> (mg/m <sup>3</sup> n)	CO (mg/m <sup>3</sup> n)
Juva (65 %)	41 (150)	528 (600)	389 (500)	83
Kerimäki (65 %)	Ei määritetty (300)	206 (450)	0,72 (200)	1292
Savonlinna (47 %)	3,3 (40)	157 (375)	0,02 (200)	317
Mäntyharju (40 %)	4,1 (150)	117 (450)	0 (200)	185
Rantasalmi (55 %)	Ei määritetty (50)	191 (375)	3,4 (200)	656

Mitatuilla laitoksilla korkeimmat NO<sub>x</sub>-päästöt olivat turvetta polttoaineena käytävällä Juvan lämpölaitoksella. Kerrosleijupetikattiloissa turpeen polton ominaispäästö NO<sub>x</sub>-pitoisuudelle on 150–200 mg/MJ, kun puun poltossa ominaispäästö on 80–150 mg/MJ. (Jalovaara ym.) Mitatut NO<sub>x</sub>-päästöt käsittävät savukaasujen NO- ja NO<sub>2</sub>-päästöt.

Myös rikkipitoisuudet olivat Juvan laitoksella korkeampia käytetyn polttoaineen takia. Turve sisältää luontaisesti enemmän rikkiä kuin puu, joten se näkyy tuloksissa. (IFRF 1995) Turvetta polttavilla laitoksilla on myös vastaavasti korkeammat siirtymäkauden päästöraja-arvot kuin puuta polttavilla laitoksilla. Juvan laitoksen käyttöaste mittausten aikana oli 65 prosenttia eli 5,2 MW.

Hiukkaspitoisuudet laitoksilla pysyivät päästöraja-arvojen alittavissa lukemissa. Rantasalmen ja Savonlinnan laitoksilla käytetään erilaisia päästöraja-arvoja, koska laitos on valmistunut ja otettu käyttöön vuoden 2010 jälkeen. Ennen vuonna 2010 käytössä olleisiin laitoksiin sovelletaan hieman löyhempiä siirtymäkauden päästöraja-arvoja.

CO-pitoisuudet vaihtelevat kohteissa paljon. PIPO-asetuksessa ei ole määritelty raja-arvoa CO-pitoisuudelle, koska sitä tarkastellaan ensisijaisesti säätöparametrina ja toissijaisesti päästösuurena. Epätäydellinen palaminen näkyy korkeina häikäpitoisuuksina, ja sen hallinnalla voidaan vaikuttaa muiden haitallisten päästöjen määrään ja kattilan käytettävyyteen. (Ympäristöministeriö 2012) Kuvassa 3 on havainnollistettu, kuinka rajusti CO-pitoisuus voi vaihdella mittauksien aikana. Vaihtelut CO-pitoisuudessa voivat johtua polttoainesyötön epätasaisuudesta, tehon nostosta tai laskusta sekä mahdollisista häiriöistä polttotapahtumassa.



**KUVA 3.** CO-pitoisuuden vaihtelu savukaasumittauksien aikana (kuva Juha Vihavainen).

Mittausten kokonaisepävarmuus koostuu näytteenotossa tapahtuvista virheistä, analysaattorin epätarkkuudesta, savukaasujen kosteudesta sekä tilavuusvirtauksen määrittämisen epävarmuudesta sekä näistä johtuvasta laskentaan kohdistuvasta virheestä. Näissä mittauksissa kokonaismittausepävarmuuden arvioitiin olleen savukaasupäästöjen osalta  $\pm 20$  prosenttia ja hiukkaspäästöissä  $\pm 30$  prosenttia mitatuista pitoisuuksista.

## JOHTOPÄÄTÖKSET

Mitattujen laitosten savukaasu- ja hiukkaspitoisuudet olivat mittausajankohtana PIPO-asetuksen siirtymäkauden päästöraja-arvon alittavissa pitoisuuksissa. Alhaiseen rikkidioksidipitoisuuteen on vaikuttanut käytetty polttoaine puun sisältäessä vähän rikkiä. Juvan laitoksella poltetaan turvetta, joten rikkidioksidipitoisuudet ovat korkeammat kuin muilla laitoksilla.

Siirtymäajan jälkeen uudet päästöraja-arvot astuvat voimaan teholtaan 1–5 MW:n energiantuotantoyksiköissä 1.1.2030 alkaen, ja teholtaan yli viisi mutta enintään 50 MW:n energiantuotantoyksiköissä 1.1.2025 alkaen. PIPO-asetus tiukensi päästöraja-arvoja aikaisempaan asetukseen verrattuna. Tämän myötä energiantuotantolaitoksilla saattaa olla edessään investointeja ja prosessimuutoksia uusien päästövähennysten saavuttamiseksi.



## LÄHTEET

Jalovaara, J., Aho, J., Hietämäki, E., Hyytiä, H. Paras käytettävissä oleva tekniikka (BAT) 5-50 MW:n polttolaitoksissa Suomessa. Suomen Ympäristökeskus. 2003. Saatavissa: [https://www.motiva.fi/files/8707/Paras\\_kayttavissa\\_oleva\\_tekniikka\\_\(BAT\)\\_5-50\\_MWn\\_polttolaitoksissa\\_Suomessa.pdf](https://www.motiva.fi/files/8707/Paras_kayttavissa_oleva_tekniikka_(BAT)_5-50_MWn_polttolaitoksissa_Suomessa.pdf)

Raiko, R., Kurki-Suonio, I., Saastamoinen, J., Hupa, M. IFRE, 1995. Poltto ja palaminen.

Valtioneuvoston asetus keskisuurten energiantuotantoyksiköiden ja -laitosten ympäristönsuojeluvaatimuksista 1065/2017. Saatavissa: <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2017/20171065>

VTT, Ilmansuojeluyhdistys ry. 2007. Päästömittausten käsikirja osa 1: Päästömittaustekniikan perusteet. Saatavissa: <https://isy.fi/julkaisut/paastomittausten-kasikirja/>

Ympäristöministeriö, 2012. Kotimaista polttoainetta käyttävien 0,5...30 MW kattilalaitosten tekniset ratkaisut sekä palamisen hallinta. Jyväskylä. PDF-tiedosto.

# BAMBUN KÄYTTÖ BIOENERGIAN TUOTANNOSSA

Kanako Yamashita & Niina Laurila

Bambu on yksi japanilaisista puulajeista, joka kuuluu olennaisena osana japanilaisten elämään. Bambusta on valmistettu niin koreja, siivilöitä, työkaluja, astioita kuin instrumentteja. Bambun käyttö on kuitenkin vähentynyt muovien käytön yleistymisen myötä, mikä on johtanut bambulehtojen hylkäämiseen. Tämän seurauksena bambulehdot ovat päässeet valtaamaan itselleen uusia alueita heikentäen alueiden monimuotoisuutta. Tämä on yksi syy, miksi Japanissa on haluttu lisätä bambun käyttöä bioenergiana.

Artikkelin teksti perustuu Kanako Yamashitan opinnäytetyöhön ”Bioenergy and renewable energy situation, emissions level and reduction methos in Japan” (Yamashita, 2020). Artikkelin on osa Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulun toteuttamaa NOxOpti – Energiantuotantoyksiköiden päästöjen monitorointi ja hallinta -hanketta. NOxOpti-hanketta rahoittaa Etelä-Savon ELY-keskus Euroopan aluekehitysrahastosta, Tiina ja Antti Herlinin säätiö sekä Etelä-Savon Energia Oy. Hankkeen toteutukseen osallistuvat Suur-Savon Sähkö Oy, Savcor Oy ja Tassu ESP.

## BAMBU

Bambu on korkea heinäkasvi, joka voi kasvaa jopa 30 metriä korkeaksi. Kasvina bambu on hallitseva, sillä se pystyy valtaamaan itselleen uutta kasvualaa maajuurien avulla sekä estämään muiden kasvien ja puiden kasvua. Japanin maapinta-alasta vuonna 2012 bambua oli vain 0,6 prosenttia. Määrä on kasvanut vuosittain. (Forest Agency 2018)

Bambun hiili sisältää paljon mineraaleja, kuten kaliumia ja natriumia, ja huokoisena materiaalina sitä voidaankin käyttää maaperän parannuksessa sekä hajujen sitojana. 34 prosenttia bambusta käytetään päivittäistavaroihin ja elintarvikkeisiin. (Forest Agency 2018)

Sysäys bambun hylkäämiselle alkoi 1960-luvulla, jolloin Japanissa koettiin suuri bambukukinta. Lähestulkoon kaikki bambut kukkivat yhtä aikaa. Kukinnan jälkeen bambut kuihtuvat. Kuolleita bambuja ei hyödynnetty, ja bambulehdot pääsivät risukoitumaan niin pahasti, ettei ihmisellä ollut enää mahdollisuutta huolehtia bambulehdoista. Bambun käyttöä on vähentänyt myös lisääntynyt muovin käyttö. (Forest Agency 2018)

Hylkäämisen seurauksena bambulehdot pääsivät leviämään metsiin, joissa niitä ei ole aiemmin ollut. Bambun maanalainen verso voi kasvaa 2–3 metriä vuodessa, ja maksimipituutta

maaversolla voi olla jopa kahdeksan metriä. Bambu varastoi ravinteet maanalaisiin osiin, mikä mahdollistaa bambun leviämisen myös synkkiin metsiin. Korkeana kasvina bambu pystyy ottamaan haltuunsa alueita, joissa pienempi kokoiset ja hitaasti kasvavat kasvit jäävät bambun varjoon. Tämä johtaa alueen monimuotoisuuden häviämiseen sekä estää metsän käytön. Bambujen kaatamisella ja torjunta-aineiden käytöllä on pyritty ennallistamaan hylättyjä bambutarhoja. Näistä keinoista torjunta-aineen käyttö on osoittautunut tehokkaaksi menetelmäksi estämään bambun leviämistä, sillä torjunta-aine hävittää myös maanalaiset versot toisin kuin kaataminen. Nykyisin bambua on alettu kemiallisen torjunnan sijasta hyödyntämään bioenergian tuotannossa. (Forest Agency 2018)

## BAMBUN POLTON ONGELMAT

Bambua on pidetty sopimattomana bioenergian raaka-aineena, koska se sisältää suuret määrät kaliumia ja kloridia. Nämä aineet aiheuttavat voimalaitoskattiloissa tuhkan sulamista ja tahmaantumista. Tuhkan sulaminen tapahtuu asteittain 680–900 °C:n lämpötilassa. Kun sulaminen alkaa, muuttuu tuhka tahmaiseksi, minkä vuoksi se tarttuu lämpöpinnolle ja lämmönsiirtoputkiiin aiheuttaen korroosiota sekä alentaen kattilan hyötysuhdetta. Matalassa lämpötilassa kehittyy myös dioksiineja. (Hitachi 2017, 2018)

## HITACHIN MENETELMÄ

Japani on halunnut lisätä bambun bioenergiakäyttöä, joten Hitachi on kehittänyt menetelmän, jolla kaliumin ja kloorin määrää bambussa voidaan vähentää. Kalium ja kloori voidaan uuttaa pois bambusta sen jälkeen, kun bambu on ensin jauhettu alle 6 mm:n kokoisiksi kappaleiksi ja upotettu veteen siten, että kappaleet kostuvat läpimäriksi. Tämän eluoinnin jälkeen vesi poistetaan. Menetelmässä hyödynnetään bambun huokoisuutta. Käsittelyn jälkeen kloridipitoisuus vähenee lähes samalle tasolle kuin mitä puupohjaisille pelleteille on polttoainestandardissa määritetty kloridipitoisuudeksi. Tekniikkaa on mahdollista käyttää kaikkiin bambulajeihin, ruohoihin ja setripuun kuoriin. (Hitachi 2017)

## UUTTEEN KÄYTTÖ LANNOITTEENA

Biopolttoaineen lisäksi menetelmällä voidaan tuottaa myös lannoitetta, sillä tutkittaessa uutetta siitä löytyi kaliumin lisäksi myös typpeä ja fosforia. Haitallisia aineita ei uutoksesta löytynyt. Uutoksen lannoitevaikutusta testattiin vihannessinapilla (komatsuna). Kokeen tuloksilla pystyttiin osoittamaan, että uutteella lannoitetut vihannessinapit olivat 1–2 cm korkeampia kuin lannoittamattomat vihannessinapit. Lannoitetut vihannessinapit olivat myös 1,24–1,44 kertaa painavampia kuin verrokit. Lisäksi lannoitetut vihannessinapit olivat tasavärisiä toisin kuin lannoittamaton vihannessinappi, jonka väri oli epätasainen. Epätasainen väri on merkki ravinteiden epätasapainosta. (Sugazawa & Yoshizako & Masaharu)

## BAMBUN KÄYTTÖ BIOPOLTTOAINEENA ETENEE

Nakanin kaupunkiin Kumamoton prefektuuriin valmistui vuonna 2019 biopolttoainetta käyttävä laitos, jonka rakennutti Bamboo Energy Corporation Ltd. ORC (Organic Rankine Cycle) -yhteistuottojärjestelmän avulla laitoksessa tuotetaan vuodessa 8750 tonnilla bambua viereisen tehtaan käyttöön lämpöä 6795 kW ja sähköä 995 kW. Tuhkan tahmaantumisen estämiseksi bambuun sekoitetaan puun kuorta. (Bamboo Energy Corporation & NEDO 2019)

Lämmön ja sähkön tuottamisen lisäksi yritys aikoo kaupallistaa voimalaitoksella syntyvän tuhkan. Tutkimuksissa on nimittäin selvinnyt, että tuhka voi toimia antibakteerisena hajunpoistajana. Bamboo Energy Corporation Ltd arvioi kaupallistamisen tapahtuvan vuonna 2023, jonka jälkeen yritys työllistää 120 henkilöä. (Bamboo Energy Corporation & NEDO 2019)

## BIOENERGIA ON TULEVAISUUTTA

Ilmastossa tapahtuvien muutosten johdosta myös Japanissa on pyritty edistämään uusiutuvan energian käyttöä. Päätöstä bioenergiaan siirtymiseen on vauhdittanut Japanin uuden keisarin päätös. Tulevaisuudessa bioenergian käyttö tulee olemaan samalla tasolla kuin muissa kehittyneissä maissa (Toyota 2019). Bioenergia on koettu liikeideaksi, jolla on vaikutusta paikalliseen toimintaan ja liike-elämään, mikä on puolestaan edistänyt myös bioenergiaan siirtymistä. Japanissa on tärkeää, että liiketoiminta tehdään yhteistyössä paikallisten asukkaiden kanssa ja heillä on myös mahdollisuus osallistua liiketoimintaan. Näin yritykset saavat parhaat edellytykset menestymiseen. Bioenergiaan liittyvää liiketoimintaa on hidastanut hakkuu- ja keruujärjestelmien puuttumisen lisäksi bambulehtojen omistajatietojen puuttuminen, mikä on hidastanut bambun hyödyntämistä. Bioenergiaan siirtyminen vaatii paljon työtä, mutta toiminta on Japanissa hyvässä alussa (Yamashita 2020).

## LÄHTEET

Forestry Agency. The promotion of bamboo utilization. 2018. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://www.rinya.maff.go.jp/j/tokuyou/take-riyou/attach/pdf/index-3.pdf>

Hitachi Ltd. Developed a technology to reform bamboos to the same quality as woody biomass fuel for power generation. 2017. PDF-dokumentti. Saatavissa: <http://www.hitachi.co.jp/New/cnews/month/2017/03/0309e.pdf>

Hitachi Ltd. Reforming Technique for Unused Biomass. 2018. WWW-dokumentti. Saatavissa: [http://www.hitachi.com/rev/archive/2018/r2018\\_03/02/index.html](http://www.hitachi.com/rev/archive/2018/r2018_03/02/index.html)

New Energy and Industrial Technology Development Organization (NEDO), Bamboo Energy Corporation. August 2019. The first completion of the ORC co-generation system which utilizes bamboo, demonstration starts. PDF-dokumentti. Saatavissa: [http://bamboo-f.com/wp/wp-content/uploads/2019/08/20190829\\_news.pdf](http://bamboo-f.com/wp/wp-content/uploads/2019/08/20190829_news.pdf)

Sugazawa, Mitsugu & Yoshizako, Hidehisa & Shigeta, Masaharu. (Hitachi Ltd). Bamboo upgrading technology to use in fuel. PDF-dokumentti. Saatavissa: [https://www.jstage.jst.go.jp/article/jiebiomassronbun/14/0/14\\_1/pdf-char/en](https://www.jstage.jst.go.jp/article/jiebiomassronbun/14/0/14_1/pdf-char/en)

Toyota Y. 2019. Chief Researcher. Haastattelu 26.12.2019. Kiko Network Kyoto.

Yamashita, K. 2020. Bioenergy and renewable energy situation, emissions level and reduction. PDF-dokumentti. Saatavissa: [https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/339231/Yamashita\\_Kanako.pdf?sequence=2&isAllowed=y](https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/339231/Yamashita_Kanako.pdf?sequence=2&isAllowed=y)

# TUHKAN YMPÄRISTÖ- VAIKUTUKSET

Juha Vihavainen & Riina Tuominen & Tommi Tenhola

Vastuullista liiketoimintaa tuhkasta -hankkeessa tuotetaan tietoa tuhkan hyötykäyttömahdollisuuksista. Hankkeessa seurataan myös tuhkalannoitus- ja tienrakennuskohteiden mahdollisia ympäristövaikutuksia. Hankkeen päätoteuttajana on Tapio Oy, muita toteuttajia ovat Kaakkois-Suomen Ammattikorkeakoulu Oy ja Suomen metsäkeskus. Hanketta rahoittaa Hämeen ELY-keskus Manner-Suomen maaseudun kehittämisohjelmasta.

Energiantuotantolaitosten polttoprosesseista syntyvää tuhkaa voidaan tietysti rajoittein sijoittaa hyötykäyttöön lannoitteena tai maanrakennukseen korvaamaan kiviaineksia. Artikkelissa käsitellään tuhkan ympäristövaikutuksia tienrakennuksessa ja lannoituskäytössä sekä esitellään hankkeen ympäristöseurantakohteet ja hankkeessa tehty tuhkaopas.

## TUHKAN HYÖTYKÄYTTÖ JA YMPÄRISTÖVAIKUTUKSET

Energiantuotantolaitoksilta syntyvän tuhkan alkuainekoostumukset vaihtelevat käytetystä polttoaineesta, savukaasujen puhdistusmenetelmästä, kattilatyyppistä ja polttoprosessista riippuen. Valtaosa syntyvästä biopolttoaineiden tuhkasta on turve- ja puupolttoaineiden seosta. Puhdas puutuhka sisältää kaikki puiden tarvitsemat ravinteet tyyppiä lukuun ottamatta oikeissa suhteissa, joten se soveltuu sellaisenaan metsälannoitteeksi. (Huotari 2011)

Metsätehon vuosina 1997–2003 tehtyjen tutkimusten mukaan tuhkalannoitus ei aiheuttanut ympäristölle oleellisia haittavaikutuksia eikä vesien rehevöitymistä. Vesiä rehevöittäviä ravinteita huuhtoutui seurannan aikana eli 5–6 vuoden kuluessa lannoituksesta vain vähän. Fosforista huuhtoutui yhden prosentin verran, eikä tyyppiä alkanut huuhtoutua. Tutkimuksen mukaan hyvin monet aineet ovat tuhkassa erittäin hidasliukoisessa muodossa. Ainoastaan boori, rikki, kalium ja natrium liukenevat yleensä nopeasti. Näiden merkitys oli lähinnä vain ravinnehukka. (Metsäteho 2005)

Tapio Oy:ssä on seurattu tuhkan ympäristövaikutuksia tiekohteissa muun muassa Karstulan testiteillä vuosina 2011–2014 Tuhkatie-hankkeessa sekä ARVO-TUHKKA-hankkeessa vuosina 2018–2020. Lisäksi tuhkalannoituksen seuranta on tehty esimerkiksi Puutuhka kivennäismaametsien lannoituksessa -hankkeessa. Vastuullista liiketoimintaa tuhkasta -hankkeessa toteutettavassa tuhkan ympäristövaikutusten seurannassa aiempia tuloksia on käytetty pohjatietoina seuranta suunniteltaessa, ja hankkeessa saatavia tuloksia voidaankin verrata aiemmin saavutettuihin tuloksiin.

## TIENRAKENNUS- JA LANNOITUSKOHTEET

Vastuullista liiketoimintaa tuhkasta -hankkeessa seurataan tuhkalannoitus- ja tienrakennuskohteiden ympäristövaikutuksia. Seurattavia kohteita ovat metsälannoituskohteet ja metsätiet, joiden rakennusaineena on käytetty energiantuotantolaitosten sivutuotteena syntynyttä tuhkaa. Metsäteiden rungot on muotoiltu kaukalon muotoon, minkä jälkeen tuhkaa on levitetty ja tiivistetty kaukaloon noin 30–40 senttimetrin kerros. Tämä rakenne on peitetty 10 senttimetrin murskekerroksella.

Hankkeen seurantatiekohteet sijaitsevat Ristiinassa Etelä-Savon maakunnassa. Honkataipaleen alueella seurattavia teitä on yhteensä noin 1050 metriä, ja ne on rakennettu vuosina 2017–2018 (kuva 1). Tien perusrakennukseen on käytetty voima- ja lämpölaitosten pohja- ja lentotuhkaa. Alue ei ole luokiteltua pohjavesialuetta, ja maaperä on kangasmaata. Lähimpään vesistöön on matkaa 50 metriä.



**KUVA 1.** Honkataipaleen alueen tiekohteet (kuva Juha Vihavainen).

Toinen hankkeen tiekohteista sijaitsee Pirttisalonn tilalla Ristiinassa (kuva 2). Pirttisalonn alueella lähimpään vesistöön (Paskolampi ja Sunterlampi) on matkaa noin 100 metriä. Lähin kaivo on noin 200 metrin etäisyydellä. Tiekohteessa on kangasmaata, ja se on perustettu vuonna 2020.



**KUVA 2.** Pirttialon tiekohde (kuva Juha Vihavainen).

Lannoituskohteita on kaksi, Ristiinassa ja Kalvitsassa. Ristiinan lannoituskohde on perustettu vuonna 2017 biohiilen lannoitevaikutuksen tutkimiseksi. Kohteessa sijaitsee kaksi tutkimusaluetta, joihin on tehty biohiililannoitus-, tuhkalannoitus- ja vertailukoelat. Toinen tutkimusalueista on puolukkaturvekangasta ja toinen tuoretta kangasta (kuva 3).



**KUVA 3.** Ristiinan lannoituskoeala (kuva Juha Vihavainen).



Kalvitsan lannoituskohde on 3,8 hehtaarin metsäpalsta (kuva 4). Tuhkalannoitteen levitys toteutettiin vuoden 2020 elokuussa. Kohteesta otettiin maa-, vesi-, marja- ja kasvinäytteet ennen lannoitusta. Palstan läpi kulkee oja, joka laskee lannoitusalueen viereiselle turvetuotantoalueelle.



**KUVA 4.** Kalvitsan metsälannoituskohde (kuva Juha Vihavainen).

## YMPÄRISTÖSEURANTA TIENRAKENNUS- JA LANNOITUSKOHTEISSA

Lannoituskohteiden ympäristön tilaa seurataan pääosin maa- ja vesinäytteillä ja mahdollisuuksien mukaan kohteista kerätään myös neulas-, marja- ja kasvinäytteitä.

Kalvitsan lannoitusalueella seurataan myös sammalien ja jäkälien sekä ruoho-, heinä- ja varpukasvien mahdollisia muutoksia, kuten kuivumista, ruskettumista, lajien vaihtumista, värimuutoksia, vähenemistä tai rehevöitymistä. Mahdollisia muutoksia seurataan kuvausten avulla ja silmämääräisillä havainnoilla (kuva 5). Marjoista ja sienistä kerätään näytteet, joita analysoimalla pyritään selvittämään tuhkalannoituksen mahdollisia vaikutuksia.

Tiekohteiden vaikutusalueilta otetaan näytteitä maaperästä ja vesistöistä. Näytteet analysoidaan akkreditoidussa laboratoriossa tuhkan ympäristövaikutusten seuraamiseksi. Lisäksi Xamkin ympäristölaboratoriossa voidaan tutkia maanäytteiden metallipitoisuuksia Niton XRF-analysaattorin avulla sekä määrittää pH, sähkönjohtavuus, kuiva-aine ja hehkutusjäännös.

Tie- ja lannoituskohteissa tehdään myös ojavesien lämpötilan, sähkönjohtavuuden ja pH:n kenttämittauksia. Kaikissa seurantakohteissa tehdään droonikuvauksia, joihin käytetään myös NGB- ja OCN-multispektrikameroita, jotka soveltuvat muun muassa kasvillisuusindeksin tarkkailuun.



**KUVA 5.** Lannoituskohteissa tuhkan vaikutuksia kasveihin seurataan näytteenottojen ja visuaalisten havaintojen avulla (kuva Juha Vihavainen).

## TUHKA OSANA KESTÄVÄÄ LIIKETOIMINTAA – OPAS TUHKAN TUOTTAJILLE JA KÄYTTÄJILLE

Hankkeessa tehtyyn tuhkaoppaaseen on koottu keskeisin tuhkaan liittyvä tietous, jota tuhkan tuottajat ja käyttäjät voivat hyödyntää toiminnassaan. Oppaassa käsitellään tuhkan ominaisuuksia, laatua ja ympäristövaikutuksia sekä tuhkan käyttöä metsänlannoituksessa ja tienrakennuksessa.

Tuhkan käyttöä säätelevät asetukset, joten käytön näkökulmasta on tärkeää ymmärtää tuhkan laadun vaikutus käyttökohteisiin. Opas antaa selkeitä ohjeita tuhkan hyödyntämiseen. Oppaaseen voit tutustua tarkemmin osoitteessa <https://tapio.fi/wp-content/uploads/2020/08/Tuhka-osana-kestavaa-liiketoimintaa-opas-Tapio-31082020.pdf>.

Tuhkien hyötykäyttö ja sen kehittäminen ovat keinoja osallistua ekologisen kestävyys turvaamiseen sekä löytää uusia kiertotalouden liiketoimintamahdollisuuksia. Tuhkan tehokas hyödyntäminen edellyttää yrityksiltä osaamista tuhkan ympäristövaikutuksista ja ymmärrystä tuhkaliiketoiminnasta.

## VASTUULLISTA LIIKETOIMINTAA TUHKASTA

Lämpö- ja voimalaitosten tuhkat ovat merkittävä kaatopaikkoja kuormittava jae, joita ei olla vielä täysin saatu hyötykäyttöön. Tuhkalannoitteilla voidaan korvata keinolannoitteita. Tuhka sisältää ravinteita, joiden palauttaminen metsään korvaa puunkorjuussa ja huuhtoutumisessa syntyvää ravinnemenetystä. Ravinteiden ohella tuhka sisältää myös polttoaineesta peräisin olevia raskasmetalleja. Tuhkalannoituksen suunnittelussa tulisikin huomioida muun muassa kasvupaikkatyyppi, metsikön kehitysvaihe, puiden ravinnetila ja metsänhoitosuosituksen mukaiset suojavyöhykkeet, jotta tuhkan laatu ja määrä saadaan valittua oikein lannoituksen ja ympäristönsuojelun kannalta.

Käytettäessä tuhkaa maarakentamisessa on lähtökohtana rakenteen kestävyys sekä haittomuus ympäristön kannalta. Tuhkan hyödynnys vähentää neitseellisten raaka-aineiden käyttöä ja pienentää kaatopaikoille sijoitetun tuhkan määrää. Tuhkien hyötykäytöllä voidaan osaltaan edistää kiertotaloutta.

Hankkeessa tuotetaan lisää tietoa tuhkan hyötykäyttömahdollisuuksista, tuhkan ominaisuuksista ja ympäristövaikutuksista. Tuhkaoppaan avulla tuhkan hyötykäytöstä kiinnostunut taho saa helposti kattavan kuvan tuhkan hyötykäyttömahdollisuuksista ja toimintavoista. Tuhkalannoituksen ja tienrakennuksen seuranta kohteita monitoroimalla tuotetaan lisää tietoa tuhkan käytön ympäristövaikutuksista. Ympäristöltään monipuoliset ympäristöseuranta kohteet mahdollistavat myös monipuoliset analyysit ja seurantamenetelmät.

## LÄHTEET

Huotari, N. 2011. Tuhkan käyttö metsälannoitteena. Metla. ISBN 978-951-40-2370-5.

Metsäteho Oy. 2005. Tuhkan ominaisuudet ja tuhkalannoituksen ympäristövaikutukset. PDF-dokumentti. Saatavissa: [https://www.metsakeskus.fi/sites/default/files/pictures/tuhkan\\_ominaisuudet\\_ja\\_tuhkalannoituksen\\_ymparistovaikutukset\\_metsateho\\_2005.pdf](https://www.metsakeskus.fi/sites/default/files/pictures/tuhkan_ominaisuudet_ja_tuhkalannoituksen_ymparistovaikutukset_metsateho_2005.pdf) [viitattu 17.8.2020]

# KIERTOTALOUSKOULUTUSTA KAIKILLE

Salla Pulliainen & Sinikka Mynttinen

Uutta työtä ja osaamista kiertotaloudesta (UTK) -hankkeessa kehitetään Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulun henkilöstön kiertotalousosaamista ja kiertotalouden opintojen sisällyttämistä osaksi eri alojen koulutusta. Kiertotalouden periaatteiden ymmärtäminen ja niiden soveltaminen kaikille aloille luovat pohjaa vastuulliselle yritystoiminnalle ja luonnonvarojen kannalta kestävämmälle talouskasvulle. Siirtyminen lineaarisesta talousmallista kiertotalouteen vaatii koko ajatusmallin muutoksen, ja kiertotalous tulisikin saada läpileikkaavaksi periaatteeksi eri alojen koulutussisältöihin. UTK-hankkeessa tarkasteltiin Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoululla tarjolla olevia avoimia kiertotalousopintoja. Hanketta rahoittaa Etelä-Savon ELY-keskus Euroopan sosiaalirahastosta.

## KIERTOTALOUDEN YMMÄRTÄMISELLÄ VASTUULLISEMPAA LIIKETOIMINTAA

Kiertotalous käsitteenä on monelle vielä uusi termi. Vaikka kiertotalous mielletään usein synonyymiksi kierrätykselle, voidaan ennen kierrätystä toteuttaa monta muuta vaihetta luonnonvarojen viisaamman käytön edistämiseksi. Jokainen vaihe alkaen tuotteen tai palvelun suunnittelusta, raaka-ainevalinnoista, tuotteiden käyttöön pidentämisestä sekä tuotteen tai sen osien uusiokäytöstä antaa mahdollisuuden tehdä valintoja raaka-aineiden ja energian säästämiseksi ja kestävämpien valintojen tekemiseksi. Tuntemalla kiertotalouden periaatteet ja liiketoimintamallit voidaan ymmärtää, kuinka luonnonvarojen liikakulutus voidaan irrottaa talouskasvusta; kiertotalouden liiketoimintamallit perustuvat resurssitehokkuuteen sekä uudenlaisten tuotteiden ja palvelukonseptien toteuttamiseen. Lähtökohtana liiketoiminnan kehittämisessä on kysymys, kuinka pienempi määrä resursseja riittäisi yhä useammalle määrälle kuluttajia.

## KIERTOTALOUDEN PERUSTEITA XAMKISSA

Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoululla on tarjolla yleisiä kiertotalouteen liittyviä opintojaksoja, joilla opiskelijoiden lisäksi myös henkilökunta voi alaan ja työtehtävään katsomatta kasvattaa tietojään kiertotalouden perusteista ja liiketoimintamalleista. Xamkin koulutustarjonnassa on valittavana kaikille avoimia opintoja, joista osa on jatkuvasti avoinna ja omaan tahtiin opiskeltavissa ja osa järjestetään esimerkiksi kerran vuodessa. Xamkin avoimia opintojaksoja voi valita verkossa Open Learn -alustalta, jonne pääsee osalliseksi rekisteröitymällä

alustalle käyttäjäksi. Lisäksi Xamkin opiskelijoiden käytettävissä on CampusOnline, josta voi valita suoritettavia opintojaksosia ammattikorkeakoulusta ja paikkakunnasta riippumatta.

Xamkin avoimissa opintojaksoissa on kiertotalouden perusteita käsittelevä opintojakso sekä suomeksi että englanniksi toteutettuna. Samankaltaisella sisällöllä oleva opintojakso kuuluu lisäksi pakollisena ympäristötekniikan insinöörien perusopintoihin. Opintojakson tavoitteena on ymmärtää tarve siirtyä nykyisestä luonnonvarojen ylikulutukseen perustuvasta lineaarisesta talousmallista kiertotalouteen. Lisäksi opintojaksolla käsitellään kiertotalouden haasteita ja mahdollisuuksia eri aloilla.

Keväällä 2020 pilotoitiin Kiertotalouden ideointiprojekti yhteistyössä Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulun ja Mikkelin Toimintakeskus ry:n kanssa. Ideointiprojekti on avoin opintojakso, jonka tarkoituksena on moniammatillisissa opiskelijaryhmissä kehittää Toimintakeskukselle saapuvasta käytetystä tavarasta uusia tuotteita ja saada siten materiaali takaisin kiertoon. Opintojakson aluksi osallistujat johdatetaan kiertotalouteen ja materiaalin uusiokäytön perusteisiin, jonka avulla opiskelijat ymmärtävät laajemmin tuotekehityksen taustalla vaikuttavan tilanteen.

Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoululla on pilotoinnissa käytössään Kiertotalouden tehtäväpankki, jossa yritykset ja opiskelijat voivat kohdata kiertotaloustehtävien parissa. Open Learn -alustalla olevan tehtäväpankin sisältö koostuu eri laajuisista työelämän toimeksiantoista, jotka liittyvät kiertotaloutta koskeviin haasteisiin. Toimeksiannot jaetaan opiskelijoiden tehtäväksi esimerkiksi osana projektiopintoja, ja toimeksiantoja voidaan toteuttaa myös moniammatillisesti eri alojen opiskelijoiden yhteistyönä. Yhteistyö työelämän kanssa tukee opiskelijoiden ammatillisen osaamisen kasvua ja jalkauttaa heitä työelämän pariin.

Kiertotalouden perusteisiin on mahdollista tutustua myös Open Learn -alustalta löytyvältä avoimelta opintojaksolta ”Biotalous liiketoiminnan tukena”. Verkkokoulutus antaa kattavan yleiskuvan bio- ja kiertotaloudesta eri aloilla ja avaa aihetta käytännön esimerkein bio- ja kiertotaloutta toteuttavien yritysten kautta. Opintojakso sopii kaikille asiasta kiinnostuneille, ja sisällön voi käydä läpi omaan aikatauluun sopivaan tahtiin.

Avoimista opintojaksoista Open Learn -alustalta löytyy lisäksi Ecolabels-opintojakso. Opintojakson tavoitteena on oppia tunnistamaan yleisimmin käytetyt sekä kansalliset että kansainväliset tuotteiden ekologisuudesta kertovat merkit sekä ymmärtämään, mitä ne tuotteesta kertovat. Merkkien tunteminen auttaa kuluttajia tekemään vastuullisempia, ympäristön kannalta parempia valintoja.

## KIERTOTALOUS OSAKSI KOULUTUSTA

Vaikka tarjolla on useita kiertotalouteen johdattavia opintojaksoja, ne ovat yhä irrallisia koulutusalojen opintosisällöistä ja jäävät useimmiten valinnaisesti opiskeltaviksi. Kiertotalouden periaatteiden tulisi olla alakohtaisesti opintokokonaisuuksiin sisäänrakennettuna, jolloin opitut käytänteet ja mallit siirtyisivät osaksi työelämää ja tulevaisuuden liiketoimintaa. Xamk onkin mukana valtakunnallisessa ammattikorkeakoulujen yhteisessä hankkeessa, jossa luodaan uusia koulutussisältöjä ja oppimisympäristöjä sekä yhteisiä käytänteitä kiertotalouden opetukseen eri aloille kaikkien mukana olevien ammattikorkeakoulujen käytettäväksi. Kasvattamalla kiertotalousosaamista eri aloilla varmistetaan, että tulevaisuuden työelämän osaajilla on tarvittavat tiedot ja taidot toimia resurssitehokkaasti ja hyödyntää suljettuja materiaalikiertoja ja kestävän kehityksen periaatteita.

# ETÄSEMINAAREILLA KOHTI HIILINEUTRAALIUTTA

Liisa Routaharju

Kiertotalousosaamista ammattikorkeakouluihin -hanke (kiertotalousamk) lähti liikkeelle huhtikuussa 2018 rahoituspäätöksen vahvistettua 19 ammattikorkeakoulun kiertotalouden kehittämiseen tähtäävän yhteistyön. Hanke on opetus- ja kulttuuriministeriön (OKM) rahoittama korkeakoulutuksen kehittämishanke. Hankkeen aloituksesta alkaen tavoitteena oli verkostoitua ja lisätä yhteistyötä kestäväällä tavalla, erityisesti haitalliset ympäristövaikutukset minimoiden. Suuri osa hankkeeseen liittyvistä kokouksista päätettiin järjestää erilaisten kollaboraatiotyökalujen avulla, jolloin matkustamisen tarve väheni selkeästi. Verkostoituminen haluttiin varmistaa hankkeen teemojen ympärille keskittyvien seminaaripäivien avulla.

COVID-19-pandemiaan liittyen Suomen hallitus asetti rajoituksia kokoontumisille maaliskuussa 2020, joten huhtikuun alkupäivinä vuorossa oleva seminaari jouduttiin toteuttamaan lähitapaamisen sijaan verkkoyhteydellä. Kahden päivän seminaari järjestettiin Zoom-yhteydellä, ja sen järjestelyistä vastasi Savonia ammattikorkeakoulu. Osallistujilta kerättiin Webropol-kyselyn avulla vertailutietoa siitä, miten he olisivat matkustaneet Kuopion seminaariin, jos se olisi järjestetty suunnitellusti paikan päällä. Samalla kerättiin yleistä palautetta etäyhteydellä järjestettävän seminaarin tarkoituksenmukaisuudesta. Tulosten perusteella matkustamisen kasvihuonekaasupäästöt olisi mahdollista kompensoida varsin pienin kustannuksin, ja etätapaamisella koettiin saavutettavan seminaarin tavoitteet lähes yhtä hyvin kuin paikan päällä järjestetyllä.

## JOHDANTO

Kiertotalousamk-hankkeen tavoitteena on edistää ammattikorkeakoulujen kiertotalousosaamista. Sen työskentely on jaettu neljään eri työpakettiin, joissa kehitetään kiertotalouden opetusmenetelmiä, yhteisiä oppimisympäristöjä, oppisisältöjä ja yhteisiä toimintakonsepteja. 19 ammattikorkeakoulusta muodostuva hankekonsortio hyödyntää yhteisessä kehitystyössä kunkin osallistuvan ammattikorkeakoulun vahvuuksia, ja tulokset jaetaan kaikkien osallistujien hyödynnettäviksi. (Kiertotalousosaamista ammattikorkeakouluihin -verkkosivusto 2018). Yhteisen hanketyöskentelyn alusta alkaen huomioitiin työskentelytapojen kestävyys ja ympäristövastuullisuus, joten matkustusta vaativien tapaamisten määrä rajoitettiin kolmeen vuotuisen seminaariin.



COVID-19-pandemiaan liittyen Suomen hallitus asetti rajoituksia kokoontumisille maaliskuussa 2020, joten huhtikuun alkupäivinä vuorossa oleva seminaari jouduttiin toteuttamaan lähitapaamisen sijaan verkkoyhteydellä. Kahden päivän seminaari järjestettiin Zoom-yhteydellä, ja sen järjestelyistä vastasi Savonia amk.

## **PÄÄSTÄMÄTTÄ JÄÄNEITÄ PÄÄSTÖJÄ SELVITETTIIN KYSELYLLÄ**

Seminaarin toteutusmuodon ansiosta säästyneitä kasvihuonekaasupäästöjä selvitettiin kysymällä osallistujilta tietoja heidän aikomastaan matkustustavasta, jos seminaari olisi suunnitellusti järjestetty paikan päällä. Samalla kerättiin yleistä palautetta etäyhteydellä järjestettävän seminaarin tarkoituksenmukaisuudesta. Kysely toteutettiin Webropol-sovelluksen avulla ja jaettiin osallistujille sähköisenä linkkinä molempina seminaaripäivinä.

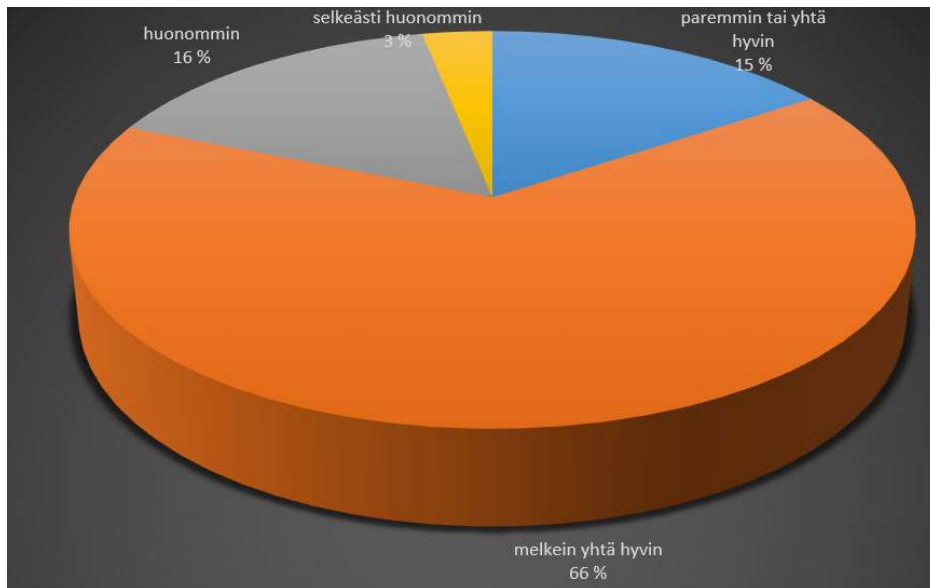
## **MATKUSTAMATTA JÄÄNEIDEN KILOMETRIEN KASVIHUONEKAASUPÄÄSTÖT SUHTEESSA SEMINAARIN TARKOITUKSEN MUKAISUUTEEN**

Kahden päivän etäseminaarissa oli enimmillään 60 osallistujaa, ja kyselyyn saatiin 32 vastausta. Seitsemän vastaajaa ilmoitti, ettei olisi osallistunut seminaariin, ellei se olisi ollut mahdollista etäyhteyden avulla. Tämä on varsin ymmärrettävää, kun ottaa huomioon vastaajien ilmoittaman matkan Kuopioon. Vastaajien mediaanimatka yhteen suuntaan olisi ollut 300 km, ja yhteenlaskettuna kilometrejä olisi tullut taitettua 8 606 km. Kuopiossa järjestettyyn seminaariin osallistuneet olisivat siis matkustaneet yhteensä 17 212 km olettaen, että meno ja paluumatka olivat yhtä pitkät.

Yli puolet (55 %) osallistujista olisi taittanut matkan junalla, jolloin näistä matkakilometreistä noin 9 467 km olisi matkustettu rautateitse. Noin 24 prosenttia ilmoitti aikoneensa matkustaa autolla (noin 4 130 km) ja loput ilmoittivat aikoneensa matkustaa jonkun toisen kyydissä. Keskiarvo käytettävissä olevien autojen CO<sub>2</sub>-päästöarvoille oli 127,1 g CO<sub>2</sub>/km, joten matkustamatta jättäminen säästi noin 525 kg CO<sub>2</sub>-päästöjä. Junamatkustajien päästöjen arvioimiseen käytettiin CO2nnect-kampanjassa (CO2nnect-kampanjan verkkosivusto, ei päivämäärää) määritettyjä päästöarvoja kilogrammoina hiilidioksidia kilometriä ja matkustajaa kohden. Kaikkiaan rautateitse matkustavien hiilidioksidipäästöt olisivat olleet noin 568 kg CO<sub>2</sub>. Autossa jonkun toisen kyydissä matkustaville ei tässä tarkastelussa laskettu päästöjä, vaikka todennäköisesti osa heidänkin matkastaan olisi niitä aiheuttanut. Yhteensä hiilidioksidipäästöjä jäi päästämättä ilmakehään yli tuhat kiloa (1 093 kg CO<sub>2</sub>). Finnair (ei päivämäärää) ilmoittaa verkkosivuillaan Helsinki–Lontoo-lentomatkan päästöinä 186,89 kg CO<sub>2</sub>/henkilö, joten säästettyjen CO<sub>2</sub>-päästöjen määrä vastaa suunnilleen kolmea edestakaista lentomatkaa Helsingin ja Lontoon välillä.

Kustannusvaikutuksia on haasteellisempi arvioida, koska erilaiset matkustustapojen yhdistelmät ja niiden kustannukset eivät kyselyn tuloksista selviä ja muitakin muuttujia on paljon. VR:n kaukojunien junalippujen hinnat vaihtelevat matkustusajankohdasta ja reitistä riippuen, mutta selvää on, että matkustamisen tarpeettomuus toi kustannussäästöjä paitsi matkustamisen, myös majoittumisen ja ruokailujen kustannusten kautta.

Kokemukset etäseminaarin tarkoituksenmukaisuudesta olivat pääosin positiivisia (kuva 1). Vastaajista lähes 16 prosenttia (5/32) valitsi vaihtoehdon ”etäosallistuminen vastaa tarkoitustaan yhtä hyvin tai paremmin kuin paikan päällä osallistuminen” ja lähes 66 prosenttia (21/32) ”etäosallistuminen vastaa tarkoitustaan melkein yhtä hyvin kuin paikan päällä osallistuminen”. Vain kuusi vastaajaa piti etäosallistumista huonompana tai selkeästi huonompana kuin paikan päällä osallistumista.



**KUVA 1.** Mielipiteiden jakautuminen etäyhteydellä ja paikan päällä järjestetyn seminaariin tarkoituksenmukaisuudesta.

Etäyhteydellä järjestetyn seminaarin etuina pidettiin yleisesti ajankäytön tehostumista ja kustannustehokkuutta. Aihetta kommentoitiin muun muassa seuraavasti: ”...en olisi osallistunut paikan päällä pitkän matkustuksen ja huonojen junayhteyksien takia” ja ”Kustannustehokas tapa järjestää seminaari”. Huonoina puolina pidettiin läsnäolon tuoman vuorovaikutuksen puuttumista: ”erilaiset keskustelut ovat todella tärkeitä ja sitouttavat & innostavat hanketoimijoita”. Myös erityistilanteesta johtuvat tekijät, kuten lastenhoidon järjestelyt, vaikuttivat etäseminaarin osallistujien kokemukseen. Etäyhteystekniikan toimivuudessa oli hetkittäin haasteita, mutta kommentteihin se ei oikeastaan heijastunut.

Osallistujat pitivät jopa hyvänä sitä, että pakon edessä tulivat tutustuneeksi uusiin kollaboraatiotyökaluihin. Useissa kommentteissa kuitenkin painotettiin sitä, että etäyhteydellä järjestetyn seminaarin onnistumiseen vaikutti se, että osallistujat jo entuudestaan tunsivat toisensa: ”Kovan asia välittämiseen järjestelmä taipuu, mutta ihmisiin ei tutustu.”

## LOPUKSI

Tulosten perusteella matkustamisen kasvihuonekaasupäästöt olisi mahdollista kompensoida varsin pienin kustannuksin ja etätapaamisella koettiin saavutettavan seminaarin tavoitteet lähes yhtä hyvin kuin paikan päällä järjestetyllä. Tulevissa hankesuunnitelmissa ja budjetoinneissa voisikin huomioida mahdolliset kompensatiomaksut ja pyrkiä näin edistämään hiilineutraaliutta tukevien työskentelytapojen käyttöä.

## LÄHTEET

Kiertotalousosaamista ammattikorkeakouluihin -verkkosivusto (2018). WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://kiertotalousamk.turkuamk.fi/>. [Viitattu 5.6.2020].

Co2nnect-kampanjan verkkosivusto. WWW-dokumentti. Saatavissa: [https://www.co2nnect.org/help\\_sheets/?op\\_id=602&opt\\_id=98&nmlpreflang=fi](https://www.co2nnect.org/help_sheets/?op_id=602&opt_id=98&nmlpreflang=fi) [Viitattu 9.4.2020].

Finnairin verkkosivusto. Saatavissa: <https://www.finnair.com/fi/fi/emissions-calculator>. Viitattu [9.4.2020].

# AMMATTIKORKEAKOULUJEN VÄLISEN YHTEISTYÖN HYVÄT KÄYTÄNTEEN JA HAASTEET KIERTOTALOUSAMK-HANKKEEN AIKANA

Juho Rajala & Liisa Routaharju

Eri ammattikorkeakoulujen välille on mahdollista järjestää toimivaa yhteistyötä, joka hyödyttää aidosti kaikkia osallistujia. Kiertotalousosaamista ammattikorkeakouluihin (Kiertotalousamk) -hankkeen tavoitteena on edistää ammattikorkeakoulujen kiertotalousosaamista. Hankekonsortion ammattikorkeakoulujen välisen yhteistyön hyviä käytänteitä ja haasteita kartoitettiin keväällä 2020 toteutetussa haastattelututkimuksessa. Yleisimmäksi teemaksi haastatteluissa nousi yhteistyön organisointi, niin hyväksi kuin haastavaksi koettuna aihealueena. Hanke on opetus- ja kulttuuriministeriön (OKM) rahoittama korkeakoulutuksen kehittämishanke.

## JOHDANTO

Kiertotalousosaamista ammattikorkeakouluihin (Kiertotalousamk) -hankkeen tavoitteena on edistää ammattikorkeakoulujen kiertotalousosaamista. Sen työskentely on jaettu neljään eri työpakettiin, joissa kehitetään kiertotalouden opetusmenetelmiä, yhteisiä oppimisympäristöjä, oppisisältöjä ja yhteisiä toimintakonsepteja. 19 ammattikorkeakoulusta muodostuva hankekonsortio hyödyntää yhteisessä kehitystyössä kunkin osallistuvan ammattikorkeakoulun vahvuuksia, ja tulokset jaetaan kaikkien osallistujien hyödynnettäviksi. (Kiertotalousosaamista ammattikorkeakouluihin -verkkosivusto 2018). Hankkeen aikana on luotu ja otettu käyttöön yhteistyötä korostavia menetelmiä ja työtapoja ja tarkasteltu yhteistoiminnan malleja ja mahdollisuuksia. Hanketyöskentelyn aikana monialaiset ja ammattikorkeakoulurajat ylittävä yhteistyö nosti esiin lukuisia yhteisen tekemisen hyviä käytänteitä, mutta haasteiltakaan ei välttytty. Hankkeen loppuvaiheessa selvitettiin yhteistyön esteitä ja kartoitettiin hyviksi havaittuja käytänteitä haastattelututkimuksen avulla.

## TUTKIMUSMENETELMÄT

Hankekonsortion ammattikorkeakoulujen välisen yhteistyön hyviä käytänteitä ja haasteita kartoitettiin puolistrukturoidun teemahaastattelun avulla. Haastattelutilanteita järjestettiin yhteensä yhdeksän, ja niihin osallistui 12 henkilöä. Kaikki haastateltavat olivat työskennelleet Kiertotalousamk-hankkeessa erilaisissa työtehtävissä vaihtelevan ajan.

Haastatteluissa esitetyt kysymykset luokiteltiin alustavasti neljään teemaan: yhteistyön eri muodot (kysymykset 1–3), yhteistyön hyvät käytänteet (kysymykset 4–6), yhteistyön haasteet (kysymykset 7–9) ja ammattikorkeakoulujen välinen yhteistyö yleisesti (kysymykset 10–12). Haastattelu eteni vapaamuotoisesti, eikä kysymyksiä esitetty sanatarkasti. Alustava teemoittelu ja kysymysten asettelu tehtiin helpottamaan haastattelun rakennetta, eikä sitä suoraan hyödynnetty analyysivaiheessa.

Analyysimenetelmäksi valikoitu kvalitatiivinen aineistolähtöinen sisällönanalyysi. Haastatteluista tehtiin lyhyet muistiinpanot, joita analyysivaiheessa redusoitiin ja luokiteltiin samoihin alaluokkiin ja edelleen yhteisten teemojen alle. Analyysiyksikkönä käytettiin yhtä lausetta, joka saatettiin liittää useampaan teemaan. Tulokset lisäksi kvantifioitiin esiintyvyyden ja haastattelutilanteiden mukaan eli määritettiin, monessako haastattelutilanteessa kyseinen teema esiintyi. Analyysiyksikkönä käytettiin yhtä lausetta, joka saatettiin liittää useamman teeman alle. Laadullisessa analyysissä kvantifoinnin merkitys on pieni, eikä pienessä aineistossa voida tehdä luotettavia johtopäätöksiä tähän nojaten. Joka tapauksessa määrällinen käsittely antaa yleiskuvan haastattelujen sisällöstä.

## YHTEISTYÖN HYVÄT KÄYTÄNTEET

Haastatteluissa esiin tulleet hyvin onnistuneet yhteistyökuviot, käytänteet ja toimet teemoiteltiin kuuden eri teeman alle. Yleisimmäksi teemaksi nousi yhteistyön organisointi, jonka alaluokkia mainittiin seitsemässä tilaisuudessa. Verkostot ja sosiaaliset suhteet, kiertotalous teemana ja käytännön toimenpiteet otettiin esiin myös seitsemässä haastattelussa. Verkkotyöskentely ja hyvä yleinen ilmapiiri mainittiin kuudessa tilaisuudessa (taulukko 1).

**TAULUKKO 1.** Teemojen esiintyminen hyvien käytänteiden osalta haastattelutilaisuuksissa. Mainintojen osalta analyysiyksikkönä on lause. Haastattelutilaisuuksia pidettiin yhteensä 9.

Teemat	Maininnat	Tilaisuudet
Yhteistyön organisointi	37	7
Verkostot ja sosiaaliset suhteet	33	7
Kiertotalous teemana	29	7
Käytännön toimenpiteet	19	7
Verkkotyöskentely	17	6
Yleinen ilmapiiri	15	6

## HAASTEET YHTEISTYÖN JÄRJESTÄMISESSÄ

Haastattelussa esiin tulleet yhteistyön haasteet jaoteltiin viiden eri teeman alle. Yleisimmäksi teemaksi nousi yhteistyön organisointi, jonka alaluokkia mainittiin seitsemässä tilaisuudessa. Muut teemat olivat selvästi harvinaisempia. Eri organisaatioiden välisten toimintatapojen erilaisuus ja verkkotyöskentely mainittiin haasteina kuudessa haastattelutilanteessa. Käytäntöön ja työnkuvaan liittyvät haasteet olivat lähinnä yksittäisiä havaintoja, jotka voitiin kuitenkin liittää kyseisen teeman alle (taulukko 2).

**TAULUKKO 2.** Teemojen esiintyminen haasteiden osalta haastattelutilaisuuksissa. Mainintojen osalta analyysiyksikkönä on lause. Haastattelutilaisuuksia pidettiin yhteensä 9.

Teemat	Maininnat	Tilaisuudet
Organisointi	28	7
Erilaisuus	18	6
Verkkotyöskentely	13	6
Käytännön haasteet	11	5
Työnkuva	8	3

## KIERTOTALOUDEN VERKOSTOT

Haastattelujen perusteella suuri onnistuminen ammattikorkeakoulujen välisessä yhteistyöhankkeessa oli teeman valinta. Kiertotalous teemana nostettiin esiin ainoastaan positiivisella puolella, eikä kukaan nähnyt teeman suhteen haasteita. Kaikki alat läpileikkaavana teema kiertotalous helpotti yhteistyötä, sillä sen eri osa-alueita voitiin edistää kaikilla aloilla kaikissa ammattikorkeakouluissa. Lisäksi kiertotalous kuvattiin ajankohtaisena ja tärkeänä aiheena. Haastateltavien motivaatio työskennellä kiertotalouden alla oli korkea, mikä helpotti yhteistyön toteuttamista. Korkea motivaatio kenties selittää myös kehitetyn työskentelyilmapiirin, jota kuvattiin sanoilla avoin, kehittävä, kannustava ja tavoitteellinen.

Sosiaalisten suhteiden muodostaminen ja laajempi verkostoituminen koettiin myös tehokkaaksi. Kiertotalous teemana todennäköisesti edesauttoi myös verkostojen muodostamista, sillä vertaisoppiminen niin alan sisällä kuin eri alojen välillä korostui vastauksissa. Erilaista tietoa ja oppia oli selvästi tarjolla eri ammattikorkeakouluissa, ja hankkeen aikana tietoa päästiin jakamaan eri organisaatioiden välillä. Yhteistyötä kehitettiin myös yleisellä tasolla paljon. Ammattikorkeakoulujen välinen yhteistyö koettiin mielekkääksi, ja kaikkia osallistujia hyödyttäväksi asiaksi. Kukaan haastateltavista ei kokenut yhteistyötä taakaksi. Hankkeen aikana muodostuneet verkostot koettiin hyödylliseksi tulevaisuuden yhteistyötä rakennettaessa, joskin esiin tuotiin huolta siitä, että yhteistyölle ei löydy resursseja hankkeen päätyttyä.

Aivan helposti ei kuitenkaan verkostoituminen tapahtunut. Vaikka ammattikorkeakoulujen alueellisuus ja erilaisuus koettiin myös vahvuutena ja toisilta opittiin paljon, aiheutti erilaisuus myös haasteita. Eri organisaatioiden erilaiset toimintatavat, aikataulut, näkemykset ja resursoinnit piti sovittaa yhteen ja luoda yhtenäisiä uusia toimintatapoja. Käytännön toiminnan lisäksi myös käsitteet, näkemykset ja intressit eri ammattikorkeakoulujen välillä olivat erilaisia ja yhteisen tavoitteen löytyminen oli haastavaa. Erilaisuuden tuomat haasteet sijoitettiin paljolti hankkeen alkupuolelle ja haastatteluissa mainittiin usein tilanteen korjaantuneen hankkeen edetessä.

## KÄYTÄNNÖN ONNISTUMISIA

Erilaisia yhteistyön muotoja eri ammattikorkeakoulujen välillä kiertotalousamk-hankkeen aikana nousi esiin suuri määrä. Valtaosa mainituista aktiviteeteistä koski käytännön tekemistä opetustehtäviin liittyvissä asioissa. Yhteistyöstä muodostuu käytännönläheinen ja tavoitteellinen kuva. Sen lisäksi, että yhteistyö vaikuttaa hyvin tuloskeskeiseltä, ovat konkreettiset toimet ilmeisesti onnistuneet hyvin. Haastatteluissa opetuskokonaisuudet, oppimateriaalit ja oppimisympäristöjen luominen mainittiin hyvin onnistuneena yhteistyönä. Vertaisoppiminen yhdessä tekemisen aikana korostui monissa vastauksissa. Yhdessä suunniteltujen, toteutettujen ja kehitettyjen opetuskokonaisuuksien pilotoiminen muissa ammattikorkeakouluissa koettiin myös hyväksi käytänteeksi.

Haasteitakin käytännön tekemiseen liittyi, mutta ne jäsenyivät kovin hajanaisiksi ja olivat enemmän yksittäisiä kokemuksia kuin suurempia alaluokkia muodostavia kokonaisuuksia. Henkilökohtainen osaamisen tai kokemuksen puute sekä kumppaneiden laiminlyönnit sovittujen tehtävien osalta keräsivät useampia mainintoja. Tällaiset haasteet ja kokemukset ovat varmasti tyypillisiä näinkin suurissa projekteissa. Haasteiden vähäiset maininnat olivat ehkä yllättävämpi havainto. Kokonaisuudessaan yhteistyön yleiskuva muodostuu haastattelujen perusteella sujuvaksi ja hyvin tavoitekeskeiseksi ja konkreettiseksi.

## VERKKOTYÖSKENTELYN HYVÄT JA HUONOT PUOLET

Haastattelujen perusteella yhteistyö kiertotalousamk-hankkeessa toteutettiin lähinnä etäyhteyksien avulla verkon ylitse. Keväällä 2020 ammattikorkeakoulut siirtyivät myös etätöihin, mutta tämän ei juuri kuvattu vaikuttavan työskentelyyn, sillä verkkotyökaluja oli käytetty jo alusta alkaen ja niihin oli totuttu. Verkkotyökalujen avulla ei pelkästään kokoustettu, vaan verkkoalustat toimivat myös työtiloina, joissa kehitettiin materiaalia yhdessä eteenpäin. Lisäksi valmis materiaali jaetaan verkkoalustan ylitse. Verkkotyöskentely oli niin intensiivistä ja siihen oli totuttu, että osa haastateltavista ei nostonut sitä varsinaisesti esiin lainkaan. Kenties vain harmiteltiin sitä, että hankkeen aikana ei tavattu muita ihmisiä. Sinänsä se ei yhteistyöhankkeessa ole kovin normaalia, mikä kuvastaa verkkotyöskentelyn luontevuutta.

Verkkotyöskentelyn haasteet sijoitettiin haastatteluissa projektin alkupuolelle. Yhteisiä alustoja ei ollut sovittu, tai ne eivät toimineet moitteetta. Se aiheutti epätietoisuutta ja hitautta projektin alussa. Verkkotyövälineisiin tutustuminen ja niiden käytön opetteleminen veivät aikansa, mutta nämäkin ongelmat kuvattiin tyypillisesti poistuneen hankkeen edetessä. Osa alustoista keräsi vielä mainintoja niiden vaikeakäyttöisyydestä ja monimutkaisuudesta.

Kokonaisuudessaan verkkotyöskentely tuntui muodostuneen luontevaksi ja tehokkaaksi tavaksi tehdä yhteistyötä hankkeen aikana. Osa jopa mainitsi yhteisten kasvokkain tapaamisten olleen turhia tai sen, että niissä oli vaikea tavoittaa ihmisiä. Etäisyyksistä johtuen verkkotyökalut nähtiin jopa yhteistyön mahdollistajana, eikä yhteistyön olisi uskottu onnistuvan ilman niitä. Eräs haastateltava totesi, että vastaava hanke ei olisi voinut toteutua 10 vuotta sitten ja että aika oli nyt kypsä tekniikan puolelta tällaiselle hankkeelle.

## SUUREN HANKKEEN HAASTEET

Yhteistyöhankkeen organisoiminen keräsi niin risuja kuin ruusuja. Yleisesti kiitosta keräsi hankkeen hallintorakenne, jota kuvattiin tavoitteelliseksi, osallistavaksi, tehokkaaksi ja ”omanlaisekseen”. Työskentelytapaa leimasi tiimiyttäminen, jossa vastuuta jaettiin henkilöille ja edelleen alatiimeille. Pienissä ryhmissä työskentely ja sieltä siirtyminen isompiin kokonaisuuksiin koettiin hyväksi työtavaksi, jossa kaikki tekijät saadaan osallistettua yhteiseen tekemiseen. Haastattelujen perusteella on vaikea saada hyvää yleiskuvaa toimintatavoista, mutta niitä kuvattiin ja kehuttiin paljon. Hankkeen hallintoa ja organisoitumista olisi hyvä tutkia omana kokonaisuutenaan, sillä se vaikuttaa osallistujien mielestä onnistuneelta ja on siten luultavasti tehokas ja toimiva.

Ajallisten ja rahallisten resurssien jakaminen oli myös onnistunutta. Hanke nähtiin luonnollisesti yhteistyön mahdollistajana, sillä se tarjosi resurssit, joita muutoin ei olisi ollut käytettävissä. Useat haastateltavat toivatkin esiin pelon siitä, että yhteistyö loppuu resurssipulaan hankkeen päättyessä. Vaikka hankkeen aikana on luotu vahvat verkostot, ei ajan uskota riittävän pitämään yhteistyötä ja kontakteja yllä.

Haasteet yhteistyön organisoimisessa ja hankkeen yleisessä etenemisessä nähtiin etenkin hankkeen alkupuolella. Hankesuunnitelmaa kuvattiin ”leveäksi ja laveaksi”, eikä aina saatu otetta siitä, mitä oikeastaan ollaan tekemässä. Alkukankeuteen liittyi myös ongelmia yhteisten toimintatapojen ja yhteisen kielen löytämiseksi. Tietokatkokset ja tiedonkulku koettiin varsinkin alussa puutteelliseksi, ja se johti päällekkäisiin työtehtäviin.

Henkilöstövaihdokset hankkeen aikana koettiin myös haasteiksi. Osa henkilöstövaihdoksista johtui työsuhteen päättymisestä, mutta myös työsuhteessa olevat tekijät joutuivat poistumaan hankkeesta sen ollessa vielä kesken. Muut työtehtävät saattoivat viedä niin paljon aikaa, että resurssia ei voitu hankkeelle kohdentaa. Resursoinnin suunnittelu siten, että



tekijät voisivat osallistua hankkeeseen sen alusta loppuun, olisi ollut toivottavaa. Vaihtuva henkilökunta vei mennessään tarvittavaa tietotaitoa, ja yhdessä tapauksessa koko toiminnan fokus jouduttiin keskittämään siksi uudelleen. Uudet henkilöt olivat taas jatkuvassa koulutuksen tarpeessa ja kohtasivat samat alkukankeudet uudestaan.

## JOHTOPÄÄTÖKSET

Eri ammattikorkeakoulujen välille on mahdollista järjestää toimivaa yhteistyötä, joka hyödyttää aidosti kaikkia osallistujia. Haastattelujen perusteella organisaatioiden henkilökunnalla on myös halu ja motivaatio tällaiselle yhteistyölle. Ajan ja rahan puute hankaloittaa yhteistyön luomista ja ylläpitoa.

Yhteisen läpileikkaavan teeman löytäminen on oleellinen asia yhteistyön lähtökohtana. Toteutuksessa verkkotyökalut mahdollistavat tehokkaan yhteistyön. Vaikka haastatteluissa osa järjestelmistä koettiin aluksi haasteellisiksi käyttää, ongelmat eivät estäneet yhteistyötä. Käytettävät alustat ja ohjelmat olisi hyvä sopia jo ennen hankkeen alkamista, jolloin monilta alkuhaasteilta vältyttäisiin.

Yhteisten pelisääntöjen ja toimintatapojen sopiminen ennen yhteistyön aloittamista sujuvoittaa yhteistyön alkua. Organisaatiot ovat erilaisia ja toimintatavat vaihtelevia. Parhaimmillaan erilaisuus kääntyy haasteesta hyödyksi, ja muiden organisaatioiden toiminnasta voidaan poimia parhaat opit omaan käyttöön.

Kiertotalousamk-hankkeen hallinnointi ja tiimilähtöinen työskentely koettiin onnistuneeksi. Yhteistyö painottui haastattelujen perusteella enemmän käytännön tekemiseen kuin hallinnon ylläpitoon, ja haastateltavat kokivat työskentelyn tehokkaaksi ja konkreettiseksi. Siksi jatkohankkeita suunniteltaessa olisi hyvä tarkastella hankkeen yleistä organisointia tarkemmin. Kehutut työtavat kannattaa kartoittaa ja siirtää myös tuleviin yhteistyökuvioihin.

## LÄHTEET

Kiertotalousosaamista ammattikorkeakouluihin -verkkosivusto (2018). WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://kiertotalousamk.turkuamk.fi/>. [Viitattu 8.6.2020].

# VEDEN LAADUN MONITOROINTIA LUGABALT2-HANKKEESSA

Tuija Ranta-Korhonen & Marina Markova & Aleksandr Brykhanov & Eduard Vasilev & Aleksandr Ogluzdin & Natalia Vasileva

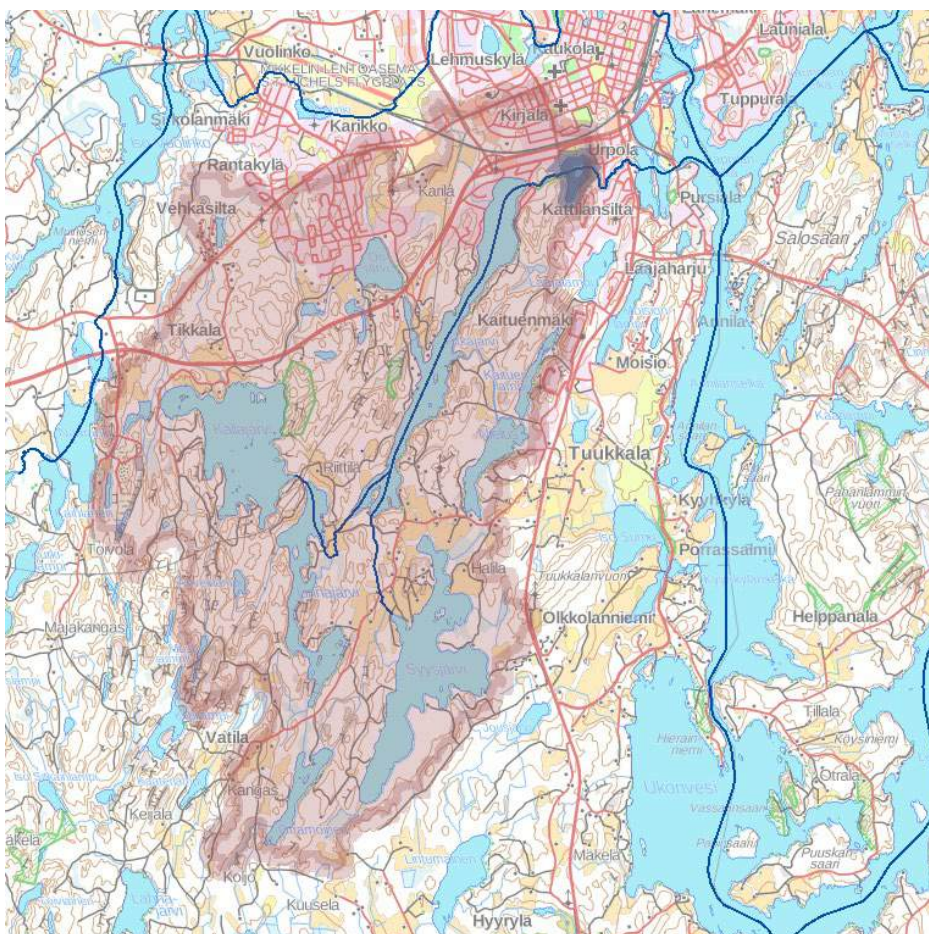
Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu osallistuu LugaBalt2-hankkeeseen (*Safe Environment and Cleaner Waterways to Blue Baltic Sea*), jonka yhdessä osatehtävässä monitoroidaan hankkeen kohdealueiden Mikkelin ja Luga vesistöjen tilaa. Hanketta toteuttavat Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulun lisäksi Luonnonvarakeskus (Luke) sekä Venäjän puolelta pääpartnerina toimiva Municipal Fund for Support of Development of Economics and Entrepreneurship of the Luga District, IEEP (Institute for Engineering and Environmental Problems in Agricultural Production, a branch of the Federal State Budgetary Scientific Institution “Federal Scientific Agriengineering Centre VIM”) sekä SASRD (Interregional Public Organization ”Society for Assistance of Sustainable Rural Development”). Hankkeen toteutusaika on 1.2.2019–31.12.2021, ja sitä rahoittaa Kaakkois-Suomi – Venäjä CBC 2014–2020 -ohjelma.

## HANKKEESSA TEHTÄVÄ VESISTÖJEN MONITOROINTI

Hankkeen aikana tutkitaan Luga-joen veden laatua Venäjällä sekä Urpolanjoen ja Hanhijoen veden laatua Mikkelin kaupunkialueella ottamalla vesinäytteitä sekä analysoimalla näytteet laboratoriossa. Lisäksi Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu suorittaa kohdejoissa monitorointia jatkuvatoimisen vesistösondin avulla. Tässä artikkelissa esitellään tarkemmin Luga-joella sekä Urpolanjoella hankkeen aikana tehdyn monitoroinnin tuloksia.

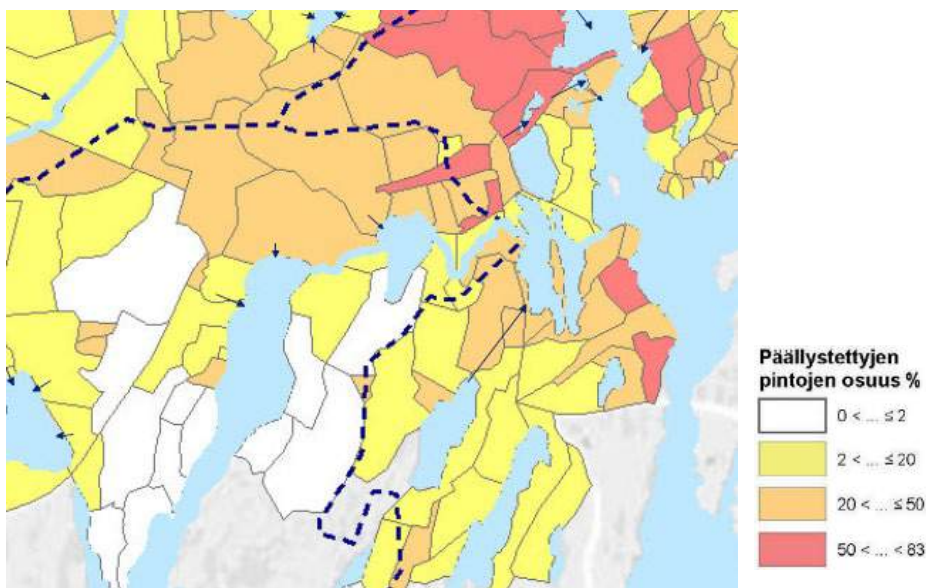
## MONITOROINTIA MIKKELISSÄ – URPOLANJOKI JA SEN VALUMA-ALUE

Urpolanjoki virtaa viljely- ja kaupunkialueiden läpi ja laskee Kattilanlahden ja Pursialanlahden kautta Pappilanselälle. Pappilanselkä on osa Mikkelin alapuolista Saimaan vesistöä. Joen valuma-alueen pinta-ala on noin 39,80 km<sup>2</sup> (kuva 1).



**KUVA 1.** Urpolanjoen valuma-alue (karttapalvelu VALUE 2020)

Valuma-alueen pinta-alasta paikoittain 20–50 prosenttia on päällystetty vettä läpäisemättömällä pinnoitteella, mutta suurimmalla osalla alueesta päällysteen osuus on ainoastaan 2–20 prosenttia tai jopa vähemmän (kuva 2).



**KUVA 2.** Päällystettyjen pintojen osuus Urpolanjoen valuma-alueella (mukailien Mikkelin kantakaupungin ekosysteemipalvelut ja viherrakenne 2016).

Veden laatu valuma-alueen suurimmassa järvessä Pitkäjärvessä on pääasiassa hyvä. Järvellä on kuitenkin havaittu kesäaikaan ajoittaisia leväkukintoja ja sinilevää.

## VEDEN LAADUN MONITOROINTI URPOLANJOELLA

LugaBalt2-hankkeen käytössä oli YSI 6920-V2 -vesistösondi, johon voidaan asentaa eri muuttujia mittaavia mittausantureita. Sondi voidaan ohjelmoida tekemään mittauksia halutulla tiheydellä, ja se lähettää mittaustulokset datapakettina mobiiliyhteyden avulla. Kuvassa 3 on esitetty sondi, sen lähetin sekä anturit.



**KUVA 3.** Vesistösondi YSI 6920 V2, sondin lähetin sekä antureita (kuvat Tuija Ranta-Korhonen ja Marina Markova).

Hankkeen mittauksissa käytettiin antureita, jotka mittaavat veden sameutta (NTU), sähkönjohtavuutta ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ), pH:ta, lämpötilaa sekä veden happipitoisuutta (mg/l ja %). Sondi kalibroitiin laboratoriossa ja asetettiin kartassa (kuva 4) näkyvään mittauspisteeseen Urpolanjoella 1.4.2020. Mittausväliksi asetettiin 2 krt/h ja datan lähetystiheydeksi 1 krt/vrk. Mittauksia jatkettiin 1.7.2020 saakka.



**KUVA 4.** Vesistösondin sijainti mittauskohteessa Urpolanjoessa (karttapaikka).

Sondin mittauksien tulokset kerääntyvät pushuriin, josta ne lähtevät datapaketina Kolibri Cloud -palveluun. Tulokset ovat katsottavissa palvelusta ja niitä on mahdollista myös ladata eri muodoissa jatkokäsittelyä varten. Online-mittauksen lisäksi kohteesta otettiin vesinäytteitä. Näytteenoton tarkoituksena oli osittain sondin mittauksien varmentaminen, mutta näytteitä otettiin myös muiden parametrien määrittämistä varten. Analysoidut muuttujat olivat: pH, sähkönjohtokyky, kiintoaine, kokonaisfosfori, happipitoisuus ja väri. Näytteitä otettiin monitorointijakson aikana suunnilleen kahden viikon välein ja samalla sondin toiminta tarkastettiin ja se puhdistettiin.

## URPOLANJOEN VEDENLAADUN MONITOROINNIN TULOKSET

Taulukossa 1 on esitetty tarkastelujakson aikana otettujen vesinäytteiden analyysitulokset.

**TAULUKKO 1.** Urpolanjoen vesinäytteiden analyysitulokset

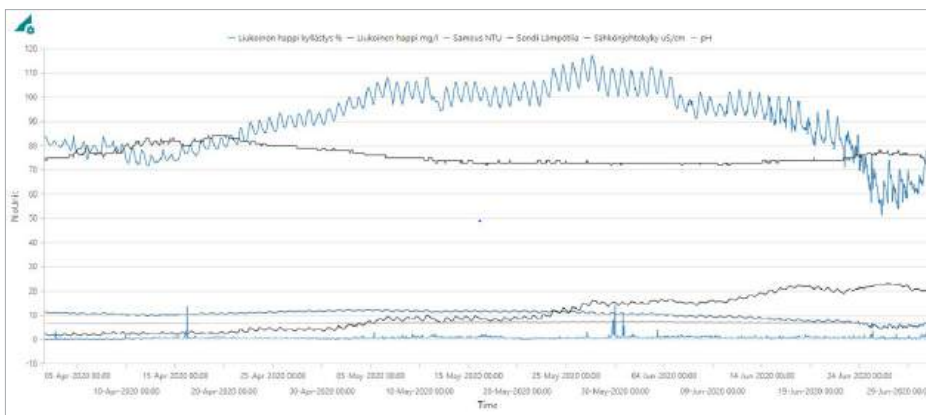
Näytteen- ottopäivä	Liuen- neen hapon määrä (mg/l)	Happea- kylläs- tysarvos- ta (%)	Sähkön- johtoky- ky ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) <sup>1)</sup>	pH	Väri (mg/l Pt)	Kiintoai- ne (mg/l)	Koko- naisfos- fori ( $\mu\text{g/l}$ )
24.4.2020	11,20	89,58	90,4	6,71	30	1,1	9,20
4.5.2020	11,95	102,18	88,00	6,67	30	2,4	7,73
12.5.2020	12,74	110,78	82,50	6,86	30	1,7	5,57
27.5.2020	11,43	117,83	82,50	6,86	30	1,7	8,54
8.6.2020	9,73	101,40	81,50	6,94	30	1,6	7,66
25.6.2020	7,46	88,76	83,50	7,13	30	-	8,595
<b>Veden- laatuluo- kituksen arvot<sup>2)</sup></b>	<b>4-10 mg/l ja vähän yli 10 mg/l</b>	<b>85-110 %</b>	<b>5-10 mS/m = 50-100 <math>\mu\text{S}/\text{cm}</math></b>	<b>6,5-6,8 tai <math>7\pm 0,2</math></b>	<b>20-40</b>	<b>1 - 3 mg/l = 0,001- 0,003 g/l</b>	<b>&lt; 15</b>
<b>Urpolan- joki luokitus<sup>3)</sup></b>	<b>Happi- rikas</b>	<b>Erin- omainen</b>	<b>Sisä- vesille tyypilli- nen arvo</b>	<b>Lievästi hapan, tyypilli- nen arvo Suomen sisä- vesissä</b>	<b>Lievästi humus- pitoinen</b>	<b>Avo- vesiajalle tyypilli- nen arvo</b>	<b>Karu</b>

<sup>1)</sup> Sähkönjohtavuuden yksikkö (SI-tunnusjärjestelmässä) on yleensä millisiemensinä metriltä eli mS/m. Se ilmoitettiin myös mikrosiemensinä senttimetriltä eli  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Nämä vastaavat toisiaan  $1 \text{ mS}/\text{m} = 10 \mu\text{S}/\text{cm}$ .

<sup>2)</sup> Veden laatuluokitus ja kuvaus tehtiin Suomen ympäristökeskuksen mukaan (Näykki ym. 2013).

<sup>3)</sup> Urpolanjoen luokitus Suomen ympäristökeskuksen LIITE 4 Veden laatuluokituksen raja-arvot ja lähteet mukaan.

Kuvassa 5 on esitetty Kolibri Cloudin kuvaaja mittausjaksolta 1.4.–1.7.2020. Kuvaajaa tarkasteltaessa on huomioitava se, että osalla parametreista ei ole parametrikohaisia suureita, mikä vääristää näkymää y-akselin osalta. Kuvaajien avulla on kuitenkin mahdollista saada yleiskuva kunkin mitatun parametrin muutoksista monitorointijakson aikana. Mittausjakson tarkempi tarkastelu on syytä tehdä lataamalla mittaus tulokset järjestelmästä CSV- tai Excel-tiedostona.



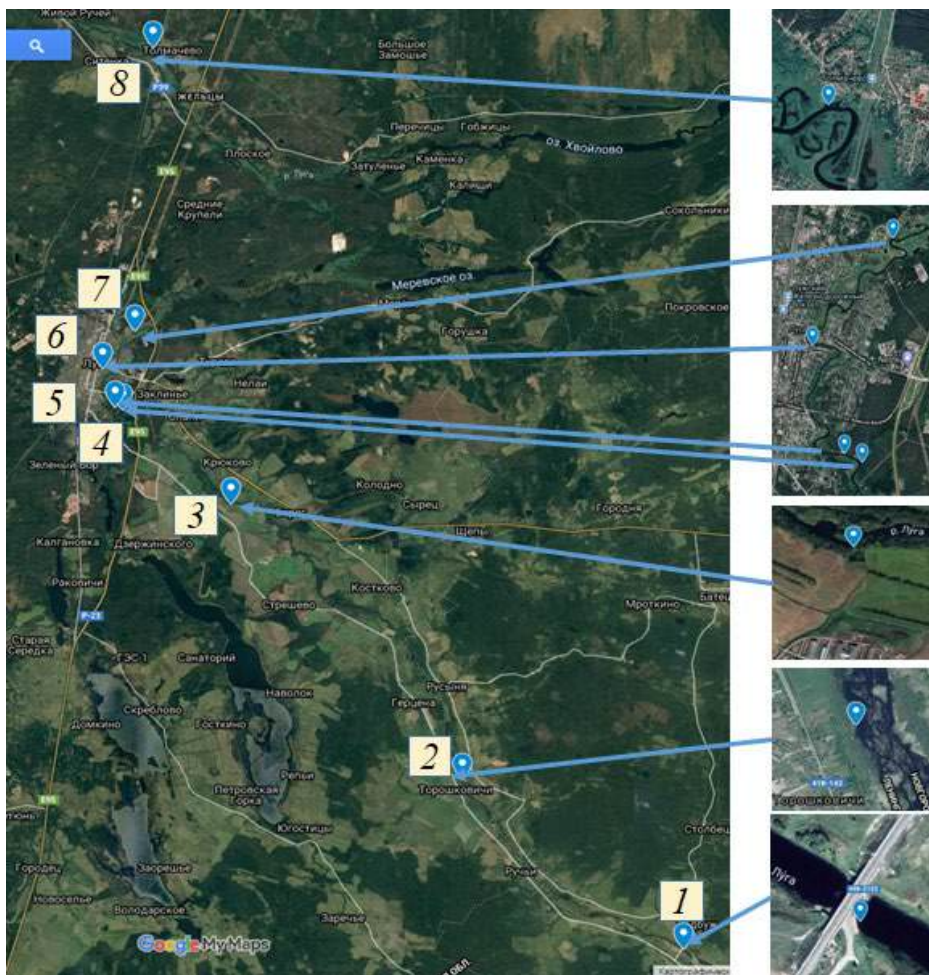
**KUVA 5.** Kolibri Cloud -kuvaaja mittausjakson ajalta

Urpolanjoella tehdyn monitoroinnin perusteella veden laatu oli hyvä, ja se pysyi hyvin tasaisena tutkimusjakson aikana. Vesi oli happirikasta, vähähumuksista ja melko kirkasta, ja sen kokonaisfosforipitoisuus oli matala. Vesistösondin mittaustulokset ja laboratorioanalyysien tulokset vastasivat hyvin toisiaan.

## VEDEN LAADUN MONITOROINTI LUGA-JOELLA VUODEN 2019 AIKANA

Venäjän puolelta tutkimusinstituutti IEEP suoritti näytteenottoa Luga-joella ja sen sivujoissa. Luga-joki saa alkunsa Novgorodin alueelta Tesovskin soilta ja laskee Suomenlahteen Ust-Lugassa Leningradin alueella. Joen pituus on 353 km. Joki on suurimmaksi osaksi melko matala, ja sillä on useita sivujokia. Joen valuma-alueella sijaitsee sekä asutuskeskuksia, vapaa-ajanasutusta että karja- ja maatiloja.

Jokivedestä otettiin näytteitä kahdeksasta eri pisteestä yhteensä kuusi kertaa touko–joulukuun (23.5., 8.7., 28.8., 26.9., 23.10. ja 24.12.) aikana vuonna 2019. Näytepisteet oli valittu ennakkotietojen perusteella, ja osa niistä oli sijoitettu vesistökuormitusta aiheuttavien ”hot spot” -kohteiden läheisyyteen. Näytepisteiden sijainti on esitetty kuvassa 6. Näytepisteet on numeroitu siten, että piste nro 1 sijaitsee joen ylävirralla ja loput pisteistä ovat järjestyksessä alavirtaan päin mentäessä.



**KUVA 6.** Näytteenotuspisteiden sijainti (kuva Eduard Vasilev).

## LUGA-JOEN MONITOROINNIN TULOKSET

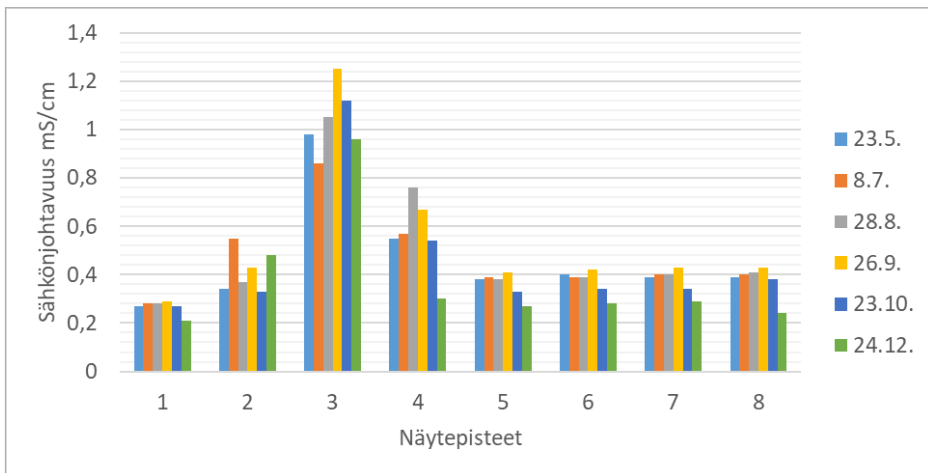
Vesinäytteistä tutkittiin sähkönjohtokyky, pH, kalium-, ammonium- sekä nitraatti-ionien pitoisuus sekä kokonaisfosfori- ja kokonaistypipitoisuudet. Tutkittujen seitsemän eri parametrin keskiarvot on esitetty taulukossa 2. Taulukossa näytteenotuspisteet ovat järjestyksessä Luga-joen yläjuoksulta alajuoksulle päin.



**TAULUKKO 2.** Luga-joelta vuoden 2019 aikana otettujen vesinäytteiden analyysitulosten keskiarvot

Näytteenottopisteet	Tutkitut parametrit						
	Sähkönjohtokyky $\mu\text{S/cm}$	pH	$\text{K}^+$ mg/l	$\text{NH}_4^+$ mg/l	$\text{NO}_3^-$ mg/l	Typpi N, Kjeldahl mg/l	Kokonaisfosfori P, $\mu\text{g/l}$
1. Autotie	270	7,5	0,18	0,06	0,6	1,5	8,00
2. Toroposhkovichi	420	7,5	0,44	0,18	1,8	1,9	29,00
3. Puro, Chegoli, maa- ja karjatila	1040	7,3	8,59	5,04	13,2	10,8	119,00
4. Puro Streljany	570	7,6	1,04	2,58	10,6	12,5	41,00
5. Uimaranta	360	7,7	0,30	1,20	0,8	1,6	24,00
6. Luga kaupunki	370	7,7	0,33	1,26	1,0	2,1	29,00
7. Jätevedenpuhdistamon jälkeen	370	7,7	0,34	1,21	1,0	1,6	29,00
8. Tolmachevon kylä	380	7,7	0,34	1,21	1,1	1,6	28,00

Näytepisteet nro 3 ja 4 on sijoitettu vesistökuormitusta aiheuttavien kohteiden eli ”hot spot” -kohteiden läheisyyteen. Esimerkiksi pisteestä nro 3 otetuissa näytteissä näkyy selvästi valuma-alueella sijaitsevan karjatalouden vaikutus vedenlaatuun, sillä kyseisessä pisteessä sekä kokonaistypen että ammonium- ja nitraatti-ionien pitoisuus vedessä nousee selvästi. Myös veden kokonaisfosforipitoisuus on korkeampi kyseisessä näytepisteessä. Sama trendi on nähtävissä myös sähkönjohtavuuden ja kaliumionien osalta. Kuvassa 7 on esitetty sähkönjohtavuuden tulokset monitorointijaksolta kaikkien näytteenottopisteiden osalta. Myös tässä kuvaajassa on selvästi nähtävissä näytteenottopisteiden 3 ja 4 läheisyydessä sijaitsevien ”hot spotien” vaikutus.



**KUVA 7.** Sähkönjohtavuuden vaihtelu näytepisteissä monitorointijaksolla.

Luga-joen valuma-alueella suoritetun näytteenoton ja laboratorioanalyysien perusteella voidaan päätellä, että veden laatu on parempi joen yläjuoksulla ja huononee alavirtaan päin mentäessä muun muassa joen valuma-alueella sijaitsevien maa- ja karjatilojen vaikutuksesta. Näytepisteiden 5 ja 8 välillä veden laadussa ei ole havaittavissa olennaista muutosta. Voidaan olettaa, että esimerkiksi ravinteiden pitoisuudet jokivedessä laimenevat alajuoksulle mentäessä jokeen valuma-alueelta tulevan veden vaikutuksesta sekä myös vesistön sisäisten prosessien, esimerkiksi kiintoaineen laskeutumisen ja ravinteiden vesikasvillisuuteen pidättäytymisen, ansiosta.

## YHTEENVETO

Talvi 2019–2020 oli lämpötiloiltaan ja sademääriltään poikkeuksellinen, mikä tulee ottaa huomioon sekä Urpolan- että Luga-joen tuloksia tarkasteltaessa. Varsinaista syksyistä jääty miskautta tai toisaalta keväistä sulamiskautta ei tarkastelujaksolla ollut, vaan jääty mis- ja sulamisjaksoja oli talven aikana useita. Lisäksi huomattava osa talvikauden sademäärästä satoi vetenä. Tästä johtuen vesistöjen pinnat olivat talvella 2019–2020 merkittävästi tavallista korkeammalla ja myös virtaamat olivat normaalia suuremmat. Lisäksi yhtäjaksoisen lumipeitteen ja roudan puuttuminen lisäsi kiintoaineen ja sen myötä ravinteiden huuhtoutumista vesistöihin. Nämä tekijät on otettava huomioon erityisesti vertailtaessa tuloksia esimerkiksi aiemmin kyseisistä kohteista otettujen näytteiden tuloksiin.

LugaBalt2-hankkeessa tutkitut Urpolanjoki ja Luga-joki ovat tyypiltään, kooltaan ja valuma-alueiltaan hyvin erilaisia. Luga-joki on jo lähtökohtaisesti rehevämpi kuin Urpolanjoki, lisäksi vedenlaadussa näkyy selvästi yhdyskuntien ja maatalouden vaikutus. Urpolanjoki puolestaan on tyypiltään karumpi, ja sen vedenlaatu on hyvin lähellä luonnontilaista. Molemmilla kohdealueilla Lugassa ja Mikkelissä jatketaan vesistömonitorointia vuoden 2020 aikana.

## LÄHTEET

Karttapaikka. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://asiointi.maanmittauslaitos.fi/karttapaikka/>.

Mikkelin kantakaupungin ekosysteemipalvelut ja viherrakenne 2016. WWW-dokumentti. Saatavissa: [https://hallinta-mikkeli.kunta-api.fi/wp-content/uploads/2017/05/20160805\\_Mikkelin\\_ESP\\_Raportti.pdf](https://hallinta-mikkeli.kunta-api.fi/wp-content/uploads/2017/05/20160805_Mikkelin_ESP_Raportti.pdf).

Näykki, T., Kyröläinen, H., Witick, A., Mäkinen, I., Pehkonen, R., Väisänen, T., Sainio, P. & Luotola, M. 2013. Laatusuosituksset ympäristöhallinnon vedenlaaturekistereihin vietävälle tiedolle: vesistä tehtävien analyttiset määrittäysrajat, mittausepävarmuudet sekä säilytysajat ja -tavat. 2013. Helsinki. Ympäristöhallinnon ohjeita 4. WWW-dokumentti. Saatavissa: [https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/40920/OH\\_4\\_2013.pdf?sequence=18](https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/40920/OH_4_2013.pdf?sequence=18).

Suomen ympäristökeskus. LIITE 4 Veden laatuluokituksen raja-arvot ja lähteet. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://www.ymparisto.fi/download/noname/%7B8A-7CACB5-3A30-4443-8470-E612AEBCF5FA%7D/91995>.

VALUE-Valuma-alueen rajaustyökalu KM10. 2020. Web-tiedosto. Saatavissa: <http://paikatieto.ymparisto.fi/value/>.

# UIMAVESIEN LAATUKRITEERIT SUOMESSA JA VENÄJÄLLÄ

Marina Markova & Tuija Ranta-Korhonen

Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulussa on käynnissä LugaBalt2-hanke (*Safe Environment and Cleaner Waterways to Blue Baltic Sea*), jonka yhdessä osatehtävässä vertaillaan uimavesien laatukriteereitä Suomessa ja Venäjällä. Hanketta toteuttavat Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulun lisäksi Luonnonvarakeskus (Luke) sekä Venäjän puolelta pääpartnerina toimiva Municipal Fund for Support of Development of Economics and Entrepreneurship of the Luga District, IEEP (Institute for Engineering and Environmental Problems in Agricultural Production, a branch of the Federal State Budgetary Scientific Institution “Federal Scientific Agriengineering Centre VIM”), SASRD (Interregional Public Organization ”Society for Assistance of Sustainable Rural Development”). Hankkeen toteutusaika on 1.2.2019–31.12.2021, ja sitä rahoittaa Kaakkois-Suomi – Venäjä CBC 2014–2020 -ohjelma.

## UIMAVEDEN LAATUA KOSKEVAT ASETUKSET JA VAATIMUKSET SUOMESSA JA VENÄJÄLLÄ

Suomessa uimaveden laatuvaatimuksista ja niiden laatuun kohdistettavasta valvonnasta määrätään sosiaali- ja terveysministeriön asetuksella 177/2008 (yleiset uimarannat) ja 354/2008 (pienet uimarannat). Venäjällä puolestaan on voimassa normatiivinen asiakirja Hygieniavaatimukset pintavesien suojelemiseksi СанПин 2.1.5.980-00, jossa määritetään myös laatuvaatimukset uimavedelle (virkistytymisessä ja liikunnassa hyödynnettävä vesi). Lisäksi muun muassa kansallisissa GOST-standardeissa määrätään näytteenottotiheydestä sekä tarkemmin paikoista, joista näytteitä tulee ottaa.

## UIMAVEDEN LAATUVAATIMUKSET JA SUOSITUKSET SUOMESSA

Uimavedelle on asetettu sekä laatuvaatimuksia että suosituksia. Laatuvaatimusten mukaan uimavedestä ei saa aiheutua terveyshaittaa uimareille ja sen laadun tulee olla vähintään tyydyttävällä tasolla. (STTV 2008, 11) Yleinen uimaranta ovat määritelmän mukaan ranta, jolla odotetaan käyvän huomattava määrä uimareita (vähintään 100 uimaria päivässä) uimakauden aikana. Pienet uimarannat ovat puolestaan nimensä mukaisesti rantoja, joilla ei odoteta käyvän huomattavaa määrää uimareita. (Valvira 2020) Tässä artikkelissa käsitellään tarkemmin yleisille uimarannoille asettuja laatuvaatimuksia ja suosituksia.

Uimarannan uimavesiluokkaa määritettäessä käytetään indikaattorimikrobeina suolistoperäisten enterokokkien ja *Escherichia coli* -bakteerien määriä ja niistä laskettuja prosenttipisteitä. Uimaveden laatuluokkia ovat erinomainen, hyvä, tyydyttävä ja huono. Vaikka uimaveden laatua seurataan edellä mainittujen indikaattorimikrobien perusteella, on tapauksissa, joissa on epäilty tai todettu uimaveden saastumista tai epidemiatilanne, perusteltua määrittää myös muiden mikrobien, kuten noroviruksen tai kampylobakteerin, pitoisuuksia. Lisäksi yksittäisille valvontatutkimatuloksille ja sinilevähavainnoille (syanoobakteerit) on määritetty toimenpiderajat. Uimaveden muuta kuin suolistoperäistä saastumista kartoitetaan syanoobakteerien, järvisyyhyn esiintyvyyden sekä kemiallisen saastumisen avulla. (STTV 2008, 13–15)

Uimavedelle annetut laatusuosituksen koskevat muun muassa vedessä esiintyviä kasviplanktonia, makrolevyä sekä mahdollisia jätteitä (esim. erilaiset kelluvat materiaalit). Myös näkösyvyyttä käytetään määritettäessä veden käyttökelpoisuutta. Mikäli joku näistä suosituksista ylittyy, sen ei automaattisesti katsota merkitsevän terveyshaittaa, vaan suositukset painottavat enemmän esimerkiksi veden esteettistä laatua sekä käyttökelpoisuutta. (STTV 2008, 15)

## UIMAVESIPROFIILI JA SEN MERKITYS

Uimarannan haltijan tai omistajan eli käytännössä kunnan on yhdessä kunnallisten terveys- ja suojeluviranomaisten kanssa laadittava jokaiselle uimarannalle uimavesiprofiili. Tässä yhteydessä voidaan myös hyödyntää ympäristöviranomaisten asiantuntemusta. Uimavesiprofiilia voidaan pitää uimarannan ja uimaveden tilaa uhkaavien riskien arviointina. Profiilia laadittaessa kuvaillaan esimerkiksi uimarannan sijaintia, sen rannan tyyppiä ja uimaveden fysikaalisia ominaisuuksia. Lisäksi kartoitetaan niitä tekijöitä, jotka voivat aiheuttaa uimaveden laadun huonontumista. Tällaisia tekijöitä voivat olla muun muassa uimarannan läheisyydessä sijaitsevat hulevesijärjestelmien purkuputket, avo-ojat tai joet sekä esimerkiksi veneliikenne, maatalous tai runsaat vesilintukannat. (STTV 2008, 32–34)

Uimarannan vedenlaadun seurantatiedot vaikuttavat uimarannan profiiliin siten, että mitä parempi vedenlaatu on seurannan aikana ollut, sitä yksinkertaisempi profiilista voidaan tehdä. Uimavesiprofiilia tulee tarkastella säännöllisesti, ja se pitää tarvittaessa päivittää. Tarkastelun tiheys on riippuvainen uimarannan uimavesiluokasta, eli mitä huonompaan luokkaan uimavesi on määritetty, sitä useammin profiilia tulee tarkastella. Esimerkiksi uimarannalla, jonka kohdalla uimavesiluokka on määritelty huonoksi, tulee profiilia tarkastella vähintään kahden vuoden välein. Mikäli uimarannan läheisyydessä tapahtuu sellaisia esimerkiksi maankäytöllisiä muutoksia, joiden voidaan epäillä vaikuttavan uimaveden laatuun, tulee profiili aina tarkastaa näiden muutosten yhteydessä. (STTV 2008, 35)

## UIMAVEDEN LAADUNVALVONTA JA NÄYTTEENOTTO SUOMESSA

Suomessa uimaveden laatua valvoo kunnan terveydensuojeluviranomainen. Uimavedestä tulee ottaa säännöllisesti näytteitä siten, että eteläisessä Suomessa näytteitä otetaan uimakauden aikana neljä kertaa ja Pohjois-Suomessa, jossa uimakausi luonnollisesti on lyhyempi, näytteitä otetaan kolmesti. Uimakausi on Etelä-Suomessa 15.6.–31.8. ja pohjoisessa sijaitsevilla kunnissa (Lapin lääni ja Taivalkosken ja Kuusamon kunnat) 25.6.–15.8. (STTV 2008, 7, 17)

Näytteenotot tulee ajoittaa siten, että ensimmäinen näytteenotto suoritetaan noin kaksi viikkoa ennen uimakauden alkua ja loput näytteet otetaan uimakauden aikana siten, ettei niiden väliin ajallisesti jää yli kuukautta. Kuten aikaisemmin on todettu, tutkitaan näytteistä ulosteperäinen saastuminen indikaattorimikrobien avulla, lisäksi arvioidaan aistinvaraisesti syanobakteerien tai roskien esiintymistä uimavedessä. (STTV 2008, 17) Näytteenottopisteeksi valitaan joko sellainen kohta uimarannasta, jossa suurin osa uimareista käy uimassa tai jossa uimavesiprofilin mukaan on suurin saastumisen riski (STTV 2008, 19).

Uimaveden laatu arvioidaan aina uimakauden päätyttyä. Arvioinnissa hyödynnetään kauden aikana otettujen suolistoperäisten mikrobien tutkimustuloksia, joita verrataan asetuksen raja-arvoihin erityisen laskukaavan avulla.

## UIMAVEDEN LAADUSTA TIEDOTTAMINEN

Jokaisella yleisellä uimarannalla on asetuksen 177/2008 mukaisesti tiedotettava uimaveden laadusta sekä tarjottava tiedot myös mahdollisesta uimakiellosta tai suosituksesta uimisen välttämiseksi. Mikäli kyseisellä uimarannalla on voimassa uimakielto tai siellä suositellaan uimisen välttämistä, on kyseisten tilanteiden aiheuttavista tekijöistä myös tiedotettava. Lisäksi uimarannalla on oltava nähtävillä uimavesiprofilin perusteella laadittu yleiskuvaus uimarannasta. Nämä tiedot voivat olla nähtävillä esimerkiksi uimarannalla sijaitsevalla ilmoitustaululla. (STTV 2008, 38–39) Kaikilla uimarannoilla Euroopan unionin alueella tulee käyttää direktiivin 2006/7/EY mukaista uimarannan voimassa olevan uimaveden luokituksen kertovaa symbolia. Kuvassa 1 on esitetty symboli, joka kuvaa erinomaista uimaveden laatua.



## Uimaveden laatu erinomainen

- ★ ★ ★ Erinomainen
- ★ ★ Hyvä
- ★ Tyydyttävä
- Huono

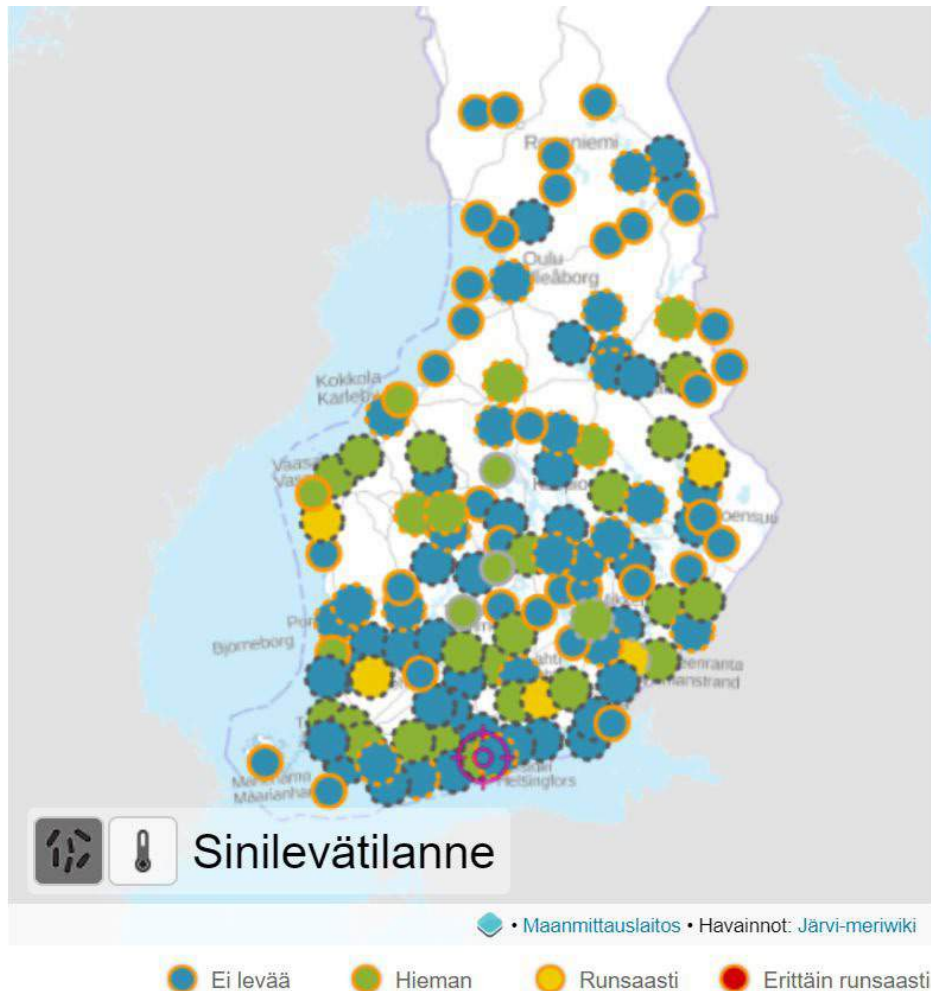
**KUVA 1.** Uimaveden laadusta kertova symboli (Valvira 2016)

Uimarantojen tilanteesta esimerkiksi levähavaintojen osalta voi saada tietoa Järviwiki-verkopalvelun kautta. Palveluun on kerätty tietoja Suomen kaikista pinta-alaltaan vähintään hehtaarin kokoisista järvistä. Palveluun voivat ladata havaintojaan sekä viranomaiset että kansalaiset. Järviwikiin perustiedot on kuitenkin ladattu eri viranomaisjärjestelmistä. Havaintoja hyödynnettäessä tulee kuitenkin huomioida, että kansalaishavainnot ovat tarkistamattomia. (Järviwiki 2014) Kuvassa 2 on nähtävillä Järviwikiin näkymä ja levätieto Mikkelin Launialan uimarannan osalta.



**KUVA 2.** Launialan uimarannan levätilanne 31.7.2020 Järviwikiin mukaan

Järviwikiin avulla voidaan myös tarkastella esimerkiksi valtakunnallista sinilevätilannetta. Kuvassa 3 on esitetty palvelun valtakunnallinen sinilevänäkymä 10.8.2020.



**KUVA 3.** Suomen vesistöjen sinilevättilanne 10.8.2020 Järviwikiin mukaan

## UIMAVEDEN LAATUVAATIMUKSET VENÄJÄLLÄ

Venäjällä määrätään uimavesien laadusta normatiivisella asiakirjalla Hygieniavaatimukset pintavesien suojelemiseksi СанПиН (SanPiN=Sanitääriset normit ja säännöt) 2.1.5.980-00. Asiakirjassa esitettyjen terveystieteellisten avustuksella pyritään ehkäisemään pintavesien pilaantumista, joka voisi aiheuttaa riskiä väestön terveydelle sekä johtaa vedenkäyttömahdollisuuksien huononemiseen. Asiakirjan mukaan esimerkiksi jätevetä voidaan laskea vesistöihin vasta asianmukaisen puhdistuksen ja hygienisoinnin jälkeen. Puhdistuksen



ja hygienisoinnin jälkeen koliformisten bakteereiden määrän on oltava  $\leq 100$  pesäkettä muodostavaa yksikköä/100 ml, koliformisten bakteerien kokonaismäärän  $\leq 500$  pesäkettä muodostavaa yksikköä/100 ml ja kolifaagien lukumäärän  $\leq 100$  pesäkettä muodostavaa yksikköä/100 ml. Asiakirjassa on määritetty myös vaatimuksia vesialueisiin vaikuttavien rakennus- ja muutostöiden osalta sekä annettu määräyksiä vesistöön purettavan huleveden osalta. Taulukossa 1 on esitetty tarkemmin joitakin asiakirjassa uimaveden laadulle annettuja raja-arvoja.

**Taulukko 1.** Uimaveden laadun raja-arvoja Venäjällä (СанПиН 2.1.5.980-00)

N <sup>o</sup>	Indikaattorit	Määräykset ja raja-arvot
1	Vatsatauteja aiheuttavat patogeenit	Vedessä ei havaittavissa ko. patogeeneja
2	Loismatojen munat	Ei havaittavissa tilavuudeltaan 25 l:n näytteessä
3	Termotolerantit koliformiset bakteerit	Enintään 100 my/100ml
4	Koliformiset bakteerit yhteensä	Enintään 500 pmy /100ml
5	Kolifaagit	Enintään 10 pmy/ 100ml
6	Kelluvat epäpuhtaudet	Öljytuotteita, öljyjä, rasvoja ja muita epäpuhtauksia ei tulisi olla havaittavissa veden pinnalla
7	Väri	Ei havaittavissa 10 cm:n vesipatsaassa
8	pH	Oltava välillä 6,5–8,5
9	Veden sisältämät ionit	Enintään 1000 mg/l kloridit – enintään 350 mg/l sulfaattit – enintään 500 mg/l
10	Liuennot happi	Vähintään 4 mg/dm <sup>3</sup> (mihin aikaan vuodesta tahansa, näytteenotto klo 12 mennessä)
11	BOD ja COD	4 mg/ l ja 30 mg/l

Venäjällä veden laadun valvontaa vesistöjen osalta suorittavat valtion terveys- ja epidemiologisen laitokset. Esimerkiksi kesäkuussa 2020 Rospotrebnadzor, joka on valtiollinen virasto ja vastaa Venäjän Federaatiossa kuluttajasuojasta sekä epidemiologisesta ja sanitäärisestä valvonnasta, julkaisi listan Leningradin alueen uimarannoista, joiden vedenlaatu on määreysten mukainen. Listassa on useampi uimaranta Lugan alueelta. (Kiber 2020)

Rospotrebnadzor valvoo uimarantojen maaperän sekä vesialueiden veden laatua. Valvontaohjelman mukaisesti uimavedestä on otettava näytteitä ennen uimakauden alkua, hiekan-

vaihdon yhteydessä sekä kuukausittain koko uimakauden ajan. Näytteenottopaikat sijoitetaan uimarannalla sellaisiin kohtiin, joissa käy eniten uimareita. Lisäksi otetaan näytteitä pisteistä, jotka sijaitsevat esimerkiksi puron tai hulevesien purkuputken läheisyydessä, eli kohdissa, joiden kautta uimaveteen voi päätyä veden laatua huonontavia epäpuhtauksia. (GOST R 55698-2013)

Näytteenottotiheyden määrittäminen on kunkin uimarannan osalta paikallisten terveys- ja tartuntatautiviranomaisten vastuulla. Näytteitä on kuitenkin otettava vähintään kaksi kertaa ennen uimakauden alkua ja vähintään kaksi kertaa kuukaudessa uimakauden aikana. Kun määritetään suolistopatogeenien esiintyvyyttä vedessä ( $\text{pmy}/\text{dm}^3$ ) uimakauden aikana, on näytteitä otettava vähintään neljä kertaa kuukaudessa. (GOST 17.1.5.02-80)

## YHTEENVETO

Vaikka uimavesien laadunvalvonta eroaa Suomessa ja Venäjällä osittain sekä valvottavien parametrien että valvontatavan osalta, on valvonnassa myös paljon yhteistä. Luonnollisesti molemmissa maissa valvottavia tekijöitä on esimerkiksi suolistopatogeenien esiintyvyys uimavedessä. Suomessa valvonta kohdistuu erityisesti valittuihin indikaattorimikrobeihin, Venäjällä määrittämiä tehdään puolestaan hieman laajemmin. Molemmissa maissa myös näytteenottopisteiden valintaa määrää sama periaate, eli uimaveden laadun monitorointia tulee kohdistaa erityisesti uimarantojen niihin kohtiin, jotka ovat uimareiden suosiossa, sekä kohtiin, joiden kautta tulevat epäpuhtaudet voivat aiheuttaa riskin uimaveden laadulle. Valvonnan pääperiaatteena sekä Suomessa että Venäjällä on taata hyvälaatuinen uimavesi, jossa on turvallista uida ja virkistäytyä.

## LÄHTEET

GOST 17.1.5.02-80. Охрана природы. Гигиенические требования к зонам рекреации водных объектов.

GOST R 55698-2013. Tourism services. Services of the beaches. General requirements.

Järviwiki 2014. Järviwiki: Tietoja. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.jarviwiki.fi/wiki/J%C3%A4rviwiki> Päivitetty 13.11.2014.

Kiber, Pjotr 2020. Роспотребнадзор опубликовал список мест в Ленинградской области, где уже можно купаться. Komsomolskaja Pravda 17.6.2020. Saatavissa: <https://www.spb.kp.ru/daily/27144/4237554/>

STTV 2008. Soveltamisopas Uimavesiasetukseen 177/2008. Sosiaali- ja terveysministerion asetus 177/2008 yleisten uimarantojen uimaveden laatuvaatimuksista ja valvonnasta. WWW-dokumentti. Saatavissa: [https://www.valvira.fi/documents/14444/22511/Uimavesiasetuksen\\_soveltamisopas\\_11032008.pdf](https://www.valvira.fi/documents/14444/22511/Uimavesiasetuksen_soveltamisopas_11032008.pdf)

Valvira 2016. Tiedottaminen uimarannoilla. WWW-dokumentti. Saatavissa: [https://www.valvira.fi/ymparistoterveys/terveydensuojelu/uimavesi/tiedottaminen\\_uimarannoilla](https://www.valvira.fi/ymparistoterveys/terveydensuojelu/uimavesi/tiedottaminen_uimarannoilla)

Valvira 2020. Uimavesi. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.valvira.fi/ymparistoterveys/terveydensuojelu/uimavesi>

# ENERGIATEHOKKUUDEN LASKEMINEN MAATALOUDESSA

Elisa Korhonen & Tuija Ranta-Korhonen

Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulussa toteutettavassa BioCom-hankkeessa (Russian-Finnish Bioeconomy Competence Centre – BioCom) kehitetään energia-auditointia ja etsitään yhteisiä indikaattoreita maatalouden energiatehokkuuslaskentaan Suomen ja Venäjän puolella. Hanketta toteuttavat Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulun lisäksi Venäjän puolelta pääpartnerina toimiva IEEP (Institute for Engineering and Environmental Problems in Agricultural Production, a branch of the Federal State Budgetary Scientific Institution “Federal Scientific Agriengineering Centre VIM”) ja Leningradin alueen energiatehokkuusvirasto (Government Agency “Center for energy saving and energy efficiency of the Leningrad Region”). Hankkeen toteutusaika on 1.6.2019–31.5.2021, ja sitä rahoittaa Kaakkois-Suomi – Venäjä CBC 2014–2020 -ohjelma.

## ENERGIATEHOKKUUS JA ENERGIAN KÄYTTÖ MAATILOILLA

Energiatehokkuuden kehittämisen tavoitteena on vähentää tuotteiden ja palveluiden tuotamisessa käytettävää energiamäärää. Energiatehokkuuden parantamisen seurauksena saavutettu aikaisempaa pienempi energiankulutus tarkoittaa myös pienempiä hiilidioksidipäästöjä sekä kustannussäästöjä. Energiatehokkuus kuvastaa tuotettujen tuotteiden ja niiden valmistamiseen käytetyn energian suhdetta. Maataloudessa energiatehokkuutta kuvaavia yksiköitä ovat esimerkiksi kWh/maitolitra, kWh/tuotettu lihakilo, kWh/lehmäpaikka tai kWh/viljakilo (Posio 2012). Käytettävän yksikön valintaan vaikuttaa maatilan tuotantosuunta, eli sen avulla voidaan osoittaa, paljonko energiaa on kulunut kyseisen maatilan tuotteiden valmistamiseen.

Maatiloilla energiaa kuluttavat erilaiset koneet ja laitteet, rakennusten lämmitys ja ilmastointi, eläinten hyvinvoinnista huolehtiminen, erilaiset peltoviljelytoimenpiteet ja materiaalien kuljetus. Energiankulutus eri sektoreiden välillä vaihtelee paljon tuotantosuunnasta riippuen. Maatilojen koon kasvu ja koneistuminen sekä automatisoinnin lisääntyminen ovat lisänneet myös maatalouden energiankulutusta. Energia maksaa, joten maatilan tuotannon ja menestymisen kannalta ei ole järkevää, että tuotantoon käytettävän energian hinta syö tuotteista saatavan hinnan. Siten on hyödyllistä tarkastella maatilan energiatehokkuutta, mahdollisuuksia tehokkuuden parantamiseen sekä edullisempia ja ympäristöystävällisempiä vaihtoehtoja energian tuottamiseen maatilalla.

## ENERGIANKULUTUKSEN KARTOITTAMINEN

Maatilan energiatehokkuuden selvittäminen edellyttää maatilan energiankulutuksen kartoittamista. Tämä tarkoittaa esimerkiksi traktoreiden ja muiden työkonien kulutuksen mittaamista kirjanpidon ja polttoainemittareiden avulla sekä sähkö- ja LVI-laitteiden kulutuksen mittaamista energiamittareiden avulla. Lisäksi on tarkasteltava kunkin laitteen ja koneen käyttömääriä, jolloin saadaan laskettua todellinen energiankulutus. Tarvitaan myös tietoa maatilan tuotannosta eli tuotetun viljan, lihan, maidon tai munien määrästä. Tällöin voidaan laskea, paljonko energiaa on kulunut tuotantoyksikköä kohden. Energiankulutuksen laskemiseen vaikuttavat useat seikat tuotantosuunnasta riippuen. Esimerkiksi maitotilan eläinten ruokinnan energiankulutuksessa tulee huomioda sekä ruokintalaitteiden energiankulutus että kaikki rehun tuotantoon liittyvät kustannukset. Tuotantorakennusten ilmastointi ja valaistus kuluttavat myös energiaa, samoin maidon käsittelyn eri vaiheet (lypsy ja jäähditys). Lisäksi muun muassa lannanpoisto ja rehun kuljettaminen kuluttavat energiaa. (Ahokas) Laskelmissa on huomioitava myös mahdollinen uusiutuvan energian käyttö, kuten aurinkovoimalla tuotettu sähkö.

ProAgria tarjoaa viljelijöille mahdollisuutta tilata maatilakohtainen energiasuunnitelma. ProAgrian energiasuunnitelmassa kartoitetaan maatilan energiankulutus sekä eri energialähteiden että käyttökohteiden osalta. Tässä huomioidaan kaikki maatilalla käytettävät polttoaineet, sähkön kulutus, lämmön tuotto, maatilan rakennukset, tuotanto sekä viljelytoiminta. Tietojen perusteella lasketaan energiankäytön tehokkuus esimerkiksi eläinpaikkaa tai hehtaaria kohti. Olennainen osa energiasuunnitelmaa ovat kehitysehdotukset, joiden avulla voidaan jatkossa parantaa maatilan energiatehokkuutta. Kehitysehdotukset voivat maatilasta riippuen olla esimerkiksi neuvoja investoida uuteen lämmitysjärjestelmään, energiaa säästävien työruutiinien käyttöönottoon, laitteiden huoltoon panostamiseen tai rakennusten kunnan parantamiseen. (ProAgria)

## LASKUREITA ENERGIALASKENTAAN

Maatilojen energiatehokkuuden määrittelemisessä käytetään erilaisia laskentamalleja. Näitä malleja eli laskureita on saatavilla eri lähteistä, ja useat niistä soveltuvat jonkin yksittäisen asian, kuten rakennuksen lämmitysenergian kulutuksen tai maitotilan ruokintajärjestelmän käyttämän energian, laskemiseen. Lisäksi on käytettävissä energian käytön laskennan pohjana kokonaisvaltaisempi edellä mainittu ProAgrian energiasuunnitelma. Myös osana BioCom-hanketta on tarkoitus tehdä oma laskentamalli hankkeen pilot-maatilojen energialaskentaa varten. Hankkeessa tutkitaan myös mahdollisuutta löytää sellaisia energiatehokkuuden indikaattoreita, joita olisi mahdollisuus hyödyntää sekä Suomessa että Venäjällä.

ProAgrian Neuvo 2020 -palvelun kautta viljelijöillä on mahdollisuus saada suunnitelmia ja kartoituksia esimerkiksi maatilan energiatehokkuuteen liittyen. Viljelijät tilaavat ProAgrian

asiantuntijan tekemään energiasuunnitelman ja maksavat siitä arvonlisäveron, jonka voi vähentää arvonlisäverotuksessa. Energiasuunnitelmaan sisältyvät maatilän energiankulutuksen laskeminen ja kehittämismahdollisuuksien kartoitus. (Neuvo 2020) Asiantuntijan tekemään energiasuunnitelman raporttimalli on nähtävissä Internetissä, ja siitä selviää suunnitelman sisältö. Suunnitelman alussa kirjataan kohdetiedot, joihin kuuluvat muun muassa kaikkien rakennusten koko- ja lämmitystiedot, tuotantotilat ja koneistus sekä tiedot energian kulutuksen seurannoista. Excel-pohjainen esimerkkitaulukko ohjeistaa käytännöllisesti polttoaineiden, sähkön ja veden kulutuksen laskemista. Kulutuksista voidaan tehdä myös havainnollistavia graafisia kuvia. Toiseen Excel-tilukseen asiantuntija kirjaa edellä kerättyjen tietojen mukaan tehdyt suunnitelmat mahdollisista energiatehokkuustoimenpiteistä. Suunnitelmassa huomioidaan myös uusiutuvien energialähteiden käyttö ja tuotanto sekä sen tehostaminen. (Maatilän energiasuunnitelma)

Motivan internet-sivuilta löytyy useita erilaisia energialaskentaan liittyviä laskureita, joita on kehitetty useissa hankkeissa. Sivuilta löytyy esimerkiksi Bioenergy4Business-hankkeessa kehitetty kattava ja monivaiheinen Excel-pohjainen biolämmön kannattavuuden laskentatyökalu. Motivalla on tarjolla myös muita bioenergian käyttöön liittyviä laskureita. BIOHEAT-lämmityskustannuslaskuri on tarkoitettu asuinrakennuksen energiavertailuun hakkeen, pellettien, polttoöljyn ja maakaasun välillä. Toinen asuinrakennusten lämmityskustannuslaskuri on pientalojen lämmitystapojen vertailulaskuri, jossa on huomioitu yleisimmät pää- ja tukilämmitystavat. Energiapuun käyttöön liittyvien erilaisten puuhakkeiden tuotanto- ja kuljetuskustannusten laskemiseen on tarjolla useita laskureita. Nämä ovat kaikkien saatavilla olevia ja ilmaiseksi käytettäviä Excel-pohjaisia laskureita. (Laskureita)

Energian käyttöön liittyvät olennaisesti hiilidioksidipäästöt, joiden laskemiseen voidaan hyödyntää Motivan CO<sub>2</sub>-laskentaohjeita. Niistä toinen on tarkoitettu yksittäisen kohteen ja toinen useamman kohteen päästöjen tai suunniteltujen päästövähennemien laskemiseen. Nämä eivät ole valmiita laskureita, vaan selkeitä ohjeita laskelmien tekemiseksi. Motiva huomauttaa, että niissä käytettävät CO<sub>2</sub>-päästökertoimet ja laskennan tulokset eivät ole absoluuttinen totuus, vaan käyttökelpoinen arvio eri kohteiden hiilidioksidipäästöistä. (CO<sub>2</sub>-laskentaohje)

Maaseudun energiayrittäjyys -hanke on koontunut internet-sivulle linkkejä uusiutuvasta energiasta ja niihin liittyvistä laskureista sekä asumiseen ja hiilijalanjäljen arvioimiseen liittyvistä laskureista. Linkkien kautta pääsee laskemaan esimerkiksi suunnitteilla olevan biokaasulaitoksen tai aurinkoenergiatuotannon kannattavuutta. Kotieläintuotannon osalta puolestaan voidaan laskea navetan ruokintajärjestelmien energiankulutusta ja lämmön talteenottoa maidosta. Myös konetyön sekä viljankuivurin kuluttaman energian laskemista varten on linkkejä useisiin laskureihin. (Maaseudun energiayrittäjyys)

Savonia-ammattikorkeakoulun hallinnoimien hankkeiden tuotoksena on syntynyt useita maatilän eri osa-alueiden energiankulutuksen laskemiseen liittyviä laskureita, joita on

saatavana Maatila2020-sivustolla internetissä. Laskurit ovat selkeitä ja vapaasti kaikkien asiasta kiinnostuneiden käytettävissä. Sivustolta löytyvällä puuenergian kustannuslaskurilla voidaan vertailla kolmea erilaista laitteistovaihtoehtoa ja siten selvittää, kannattako lypsykarjarakennuksen lämpöenergian tuottaminen puuenergialla. Maitotilojen ruokintajärjestelmien energiankulutuslaskurissa on mahdollista laskea kahdentoista erilaisen ruokintajärjestelmän kuluttama energia ja kustannukset myös hankintakustannus huomioiden. Valaistusinvestoinnin kannattavuuslaskelmassa voidaan selvittää vanhan valaistuksen, kuten loisteputkivalaistuksen, ja suunnitteilla olevan led-valaistuksen energiankulutukset ja käyttökustannukset vuodessa. Säilörehun korjuuseen kuluva ajan vertaamiseksi noukinvaunun ja tarkkuussilppurin välillä on tehty oma laskurinsa sekä myös säilörehun kuljetuksen aika- ja kustannusvertailu traktorin ja rekan välillä. Samoin saatavissa on myös lannan siirtoon ja levitykseen kuluva ajan laskentatyökalu. Lihanautojen kasvattajille suunniteltu eMulli2-laskentaohjelma on puolestaan monipuolinen ja laaja laskuri, joka keskittyy nimenomaan lihanautojen kasvatuksen tarpeisiin. (Savonia)

## KEINOJA ENERGIATEHOKKUUDEN PARANTAMISEEN MAATILOILLA

Energiatehokkuutta voidaan parantaa vähentämällä energiankulutusta, vaihtamalla energialähde uusiutuvaan energiaan sekä lisäämällä tuotantoa suhteessa kulutettuun energiamäärään. Eri maatiloilla käyttökelpoiset energiatehokkuuden parantamiseen tähtäävät toimenpiteet riippuvat luonnollisesti tuotantosuunnasta. Peltoviljelyssä, joka on suuri yksittäinen energiankuluttaja, muokkaus- ja kylvömenetelmien valinnalla voidaan vaikuttaa viljelyn kokonaiskulutukseen. Koneiden ja laitteiden käyttötapa, koko ja huolto sekä viljelijän ammattitaito ovat myös energiankulutukseen vaikuttavia tekijöitä. Lisäksi peltojen sijoittelu mahdollisimman lähelle toisiaan auttaa vähentämään matka-ajoon kuluva energiaa polttoaineen muodossa. Sadonkorjuun jälkeen tapahtuvassa viljankuivauksessa energiatehokkuuteen vaikuttavia toimenpiteitä ovat muun muassa kuivauslämpötilan säätäminen, kuivurikoneiston huolto sekä lämpöenergian tuotannon polttoaineen valinta (esim. hake oman tilan puista). (Posio 2012)

Maitotilojen energiatehokkuuden lisäämistä voidaan edesauttaa jo tuotantorakennusten rakentamisvaiheen valinnoilla. Koneiden, kuten ilmanvaihto- ja lypsykoneiden, huoltojen tekeminen ajallaan ja sähköä säästävien taajuusohjattujen moottoreiden käyttö lisäävät energiansäästöä. Valaistuksessa säästöä syntyy säätämällä valaistus todellisen tarpeen mukaan, hyödyntämällä päivänvaloa ja vaihtamalla lamput energiaa säästäviksi (esim. LED-lamput). Näiden lisäksi maidon jäädyttämisestä vapautuvan jäädytyslämmön talteenotto ja hyödyntäminen käyttöveden lämmityksessä kuuluvat maitotilojen energiatehokkuustoimenpiteisiin. (Ahokas, Posio 2012)

## LÄHTEET

Ahokas, J. Energian säästömahdollisuudet maataloilla. Energia-akatemia.

Biolämmön kannattavuuden laskentatyökalu. Motiva Oy.

CO<sub>2</sub>-laskentaohje energiankulutuksen hiilidioksidipäästöjen laskentaan. Motiva Oy.

Laskureita. Motiva Oy.

Maaseudun energiayrittäjyys. Laskurit.

Maatilan energiasuunnitelma 2013. Saatavissa: <https://www.ilmase.fi>

Neuvo 2020. ProAgria.

Posio, M. 2012. Maatilojen energiatehokkuus. OAMK.

ProAgria. Energiasuunnitelmalla kustannusjahtiin.

Savonia. Maatila2020. Saatavissa: <https://maatila2020.savonia.fi/>



# RUSSIAN-FINNISH BIOECONOMY COMPETENCE CENTRE – BIOCOM -HANKKEEN OPETUSMATERIAALI

Elisa Korhonen & Tuija Ranta-Korhonen

Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulussa toteutettavassa BioCom -hankkeessa (Russian-Finnish Bioeconomy Competence Centre – BioCom) kartoitetaan biotalouden edellytyksiä ja edistetään biotaloutta Etelä-Savon ja Leningradin alueen maaseutualueilla. Hanketta toteuttavat Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulun lisäksi Venäjän puolelta pääpartnerina toimiva IEEP (Institute for Engineering and Environmental Problems in Agricultural Production, a branch of the Federal State Budgetary Scientific Institution “Federal Scientific Agriengineering Centre VIM”) ja Leningradin alueen energiatehokkuusvirasto (Government Agency “Center for energy saving and energy efficiency of the Leningrad Region”). Hankkeen toteutusajankaus on 1.6.2019–31.5.2021, ja sitä rahoittaa Kaakkois-Suomi – Venäjä CBC 2014–2020 -ohjelma.

## BIOTALOUS SUOMESSA

Biotalous tarkoittaa luonnonvarojen käyttöä ravinnon, energian sekä erilaisten tuotteiden ja palvelujen tuottamiseen. Tavoitteena on hyödyntää ympäristöstä säästävää puhdasta teknologiaa sekä kierrättää materiaaleja tehokkaasti. Tarkoitus on muun muassa vähentää riippuvuutta fossiilisista raaka-aineista sekä edistää talouskasvua ja uusien työpaikkojen luomista. (Biotalous) Suomessa vuonna 2018 uusiutuvien energialähteiden osuus oli noin 37 prosenttia energian kokonaiskulutuksesta. Uusiutuvien energialähteiden käyttäjänä Suomi kuuluu jo tällä hetkellä EU-maiden kärkijoukkoon, ja tavoitteena on edelleen kasvattaa niiden osuutta kokonaiskäytöstä. Vuoden 2016 energia- ja ilmastostrategiassa ja hallitusohjelmissa Suomi onkin asettanut tavoitteeksi, että uusiutuvan energian osuus nousee yli 50 prosenttiin 2020-luvulla. (Maa- ja metsätalousministeriö)

Metsähakkeen kokonaiskäyttömäärä on vaihdellut Suomessa viime vuosina. Vuoden 2017 jälkeen hakkeen käyttömäärässä on tapahtunut nousua, ja vuonna 2019 kokonaiskäyttö, mukaan lukien pientalot, oli 8,2 milj. m<sup>3</sup>, joka on energiasisällöltään noin 16 TWh. (Luonnonvarakeskus 2020) Biokaasulaitokset kilpailevat keskenään raaka-aineista, minkä vuoksi ne osittain salaavat tuotantotietojaan. Tämä aiheuttaa biokaasun osalta jonkin verran epätarkkuutta tilastoinnissa. Käytettävissä olevien tilastojen mukaan vuonna 2017 Suomessa tuotettiin biokaasua yhteensä 172,2 milj. m<sup>3</sup>, joka tarkoitti noin 10 prosentin

lisäystä edellisvuoteen. Biokaasulla tuotettu energiamäärä oli noin 700 GWh, joka on vain noin 0,5 prosenttia Suomen uusiutuvan energian tuotannosta. Biokaasun käyttöä olisi mahdollista edelleen tehostaa muun muassa hyödyntämällä ylijäämäpoltossa tuhlattu energia. (Huttunen ym. 2018, 4, 8) Lämpöpumppujen määrä Suomessa on kasvanut, ja vuonna 2019 rikkooontui miljoonan lämpöpumpun raja Suomessa. Lämpöä niillä tuotettiin yli 10 TWh vuodessa, mikä tarkoittaa 15 prosenttia Suomen lämmityksestä. Tämän on laskettu vähentävän CO<sub>2</sub>-päästöjä noin kaksi miljoonaa tonnia. (Suomen Lämpöpumppuyhdistys SULPU ry 2019)

## BIOTALOUSHANKKEEN KOHDEALUEELLA VENÄJÄLLÄ

Hankkeen valmisteluvaiheessa Venäjällä tehdyssä taustaselvityksessä kävi ilmi, että paikallisilla ihmisillä on heikko tietämys biotaloudesta ja erilaisten uusiutuvien energialähteiden hyödyntämismahdollisuuksista maataloudessa. Myös tiedon jakamisessa erilaisten oppilaitosten kautta on ongelmia, koska biotalouteen liittyvää koulutusta antavista oppilaitoksista on pulaa. Koululaisille suunnatun tietovisan tuloksena selvisi, että 90 prosenttia vastaajista ei ollut koskaan kuullutkaan biotaloudesta. Erilaisista uusiutuvan energian tuotantolaitteista heille olivat tuttuja vain tuulivoimalat ja aurinkopaneelit. Suurimmaksi uusiutuvan energian eduksi koululaiset arvelivat sen olevan halvempaa kuin muut energiat, mikä tosin ei pidä useimmissa tapauksissa paikkaansa. Nuorten asenne uusiutuvia energialähteitä kohtaan oli myönteinen, joten ongelma on lähinnä tiedon ja koulutuksen puute.

Taustaselvityksen perusteella BioCom-hankkeen yleiseksi tavoitteeksi on määritelty sekä nuorempien että vanhempien ikäryhmien koulutuksen lisääminen liittyen biotalouteen. Erityisesti halutaan lisätä tietoisuutta maatalouteen liittyvistä biotalouden käsitteistä ja käytännön mahdollisuuksista tehostaa uusiutuvien energialähteiden käyttöä maaseudulla. Tämä tarjoaa myös mahdollisuuden kehittää paikallisesti uusia työpaikkoja ja lisätä maaseudun työvoiman ammattitaitoa. Tiedon jakamisella uusiutuvien energialähteiden käytön mahdollisuuksista voidaan pienentää myös maatalouden hiilijalanjälkeä ja vähentää kasvihuonekaasupäästöjä.

## HANKKEESSA TUOTETTU OPETUSMATERIAALI

Hankkeessa tuotettua opetusmateriaalia käytetään Venäjällä toteutettavassa eri kohde-ryhmien koulutuksessa osana hankkeeseen sisällytettyä elinikäisen oppimisen prosessia. Koulutusta annetaan hankkeessa perustetussa biotalouden oppimiskeskuksessa Pietarissa. Oppimiskeskukseen on muun muassa hankittu erilaista energiantuotannossa käytettävää tekniikkaa, kuten aurinkopaneeleja ja -keräimiä, havainnollistamaan biotalouden mahdollisuuksia. Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulun tekemät opetusmateriaalit on suunnattu kolmelle hankkeessa annettavan koulutuksen kohderyhmälle, joita ovat opiskelijat, tutkijat ja maanviljelijät. Materiaaleissa esitellään puuhakkeen, biokaasun sekä erilaisten lämpöpump-

pujen käyttöä. Venäläinen pääpartneri puolestaan on tehnyt vastaavaa opetusmateriaalia aurinkoenergiasta. Opetusmateriaalien aiheet ovat kaikille kohderyhmille samat, mutta niiden sisältö vaihtelee jonkin verran kohderyhmän mukaan.

## OPETUSMATERIAALIEN SISÄLTÖ JA HYÖDYNTÄMINEN HANKKEEN JÄLKEEN

Puuhake-materiaalissa kerrotaan hakkeeseen käytettävästä raaka-aineesta (kuva 1) ja sen hankintaketjusta sekä haketuksesta. Hakkeen tuotantoketjuja on erilaisia riippuen haketuspaikasta. Opetusmateriaalissa kerrotaan, miten poltettavan hakkeen laatu vaikuttaa siihen, millainen lämpöarvo hakkeella on ja mikä sen energiasisältö on suhteessa polttoöljyyn. Materiaalissa käydään läpi myös puuhakkeen erilaiset käyttökohteet, lämpökattilat ja niiden erilaiset vaatimukset hakkeen laadulle. Olennaista on myös tieto siitä, että puuhake on uusiutuvaa ja puhdasta bioenergiaa, jonka käyttö lisääntyy Suomessa koko ajan. Samalla hakettaminen tarjoaa työllistymismahdollisuuksia sekä erilaisille pienyrityksille että isoillekin yrityksille.



**KUVA 1.** Puuhakkeen raaka-aineen annetaan kuivua kasoissa ennen haketusta (kuva Elisa Korhonen).

Biokaasua käsittelevässä opetusmateriaalissa kerrotaan biokaasun syntyprosessista, sen esiintymisestä luonnossa sekä siitä, mistä orgaanisista aineksista biokaasua voidaan valmistaa ja mistä se koostuu. Lisäksi kerrotaan biokaasun tuotantoprosessista ja metaanin muodostumisesta. Erilaiset raaka-aineet tuottavat erilaisia määriä biokaasua. Tuotantoprosessissa olennainen merkitys on raaka-ainemassan kuiva-ainepitoisuudella ja sen sisältämällä or-

gaanisen aineksen osuudella. Näitä tekijöitä sekä biokaasun energiasisällön yhteyttä kaasun metaanipitoisuuteen selvennetään opetusmateriaalissa esimerkein. Materiaalista käy ilmi myös biokaasun tuotannon ja käytön kasvu sähkön- ja lämmöntuotannossa sekä myös liikennepolttoaineena.

Lämpöpumpputekniikkaa esittelevä opetusmateriaali selventää erilaisten lämpöpumppu-tyyppien toimintaperiaatteita sekä niiden soveltumista erilaisiin käyttökohteisiin. Lisäksi maalämpöpumpun toimintaperiaate on havainnollistettu kaaviokuvalla. Materiaalissa kuvataan myös lämpöpumppujen eri käyttökohteita sekä käsitellään lämpöpumppujen ympäristöhyötyjä ja niiden käytön yleistymistä Suomessa.

Opetusmateriaalia on tarkoitus hyödyntää myös projektin toteutusajan päättymisen jälkeen erilaisissa koulutustilaisuuksissa ja hankkeen koulutuskeskukseen tehtävien koululaisvierailujen sekä muiden kohderyhmien vierailujen yhteydessä.

## LÄHTEET

Biotalous. Suomi kehittää. Saatavissa: <https://www.biotalous.fi/suomi-kehittaa/>

Huttunen, M.J., Kuittinen, V. & Lampinen, A. 2018. Suomen biokaasulaitosrekisteri N:o 21. Joensuu: Itä-Suomen yliopisto. PDF-dokumentti. Saatavissa: [https://epublications.uef.fi/pub/urn\\_isbn\\_978-952-61-2856-6/urn\\_isbn\\_978-952-61-2856-6.pdf](https://epublications.uef.fi/pub/urn_isbn_978-952-61-2856-6/urn_isbn_978-952-61-2856-6.pdf)

Luonnonvarakeskus. 2020. Suomen virallinen tilasto (SVT): Puun energiakäyttö 2019 (ennakko). Päivitetty 19.3.2020. Saatavissa: [https://stat.luke.fi/puun-energiakaytto-2019-ennakko\\_fi](https://stat.luke.fi/puun-energiakaytto-2019-ennakko_fi)

Maa- ja metsätalousministeriö. Suomessa uusiutuvasta energiasta suurin osa on bioenergiaa. Saatavissa: <https://mmm.fi/biotalous/bioenergia>

Suomen Lämpöpumppuyhdistys SULPU ry. 2019. Miljoonan lämpöpumpun raja rikki. Niillä tuotetaan jo 15 % Suomen lämmityksestä. Päivitetty 20.11.2019. Saatavissa: <https://www.epressi.com/tiedotteet/rakentaminen/miljoonan-lampopumpun-raja-rikki-niilla-tuotetaan-jo-15-suomen-lammityksesta.html>

# BIOCOM-HANKKEESEEN LIITTYVÄ SELVITYS SUOMEN MAA- TALOUDEEN ENERGIANKÄYTÖSTÄ

Elisa Korhonen & Tuija Ranta-Korhonen

BioCom – Russian-Finnish Bioeconomy Competence Centre -hankkeen tavoitteena on biotalouden edistäminen maaseutualueilla Venäjän ja Suomen välisen rajan molemmiin puolin. Tähän liittyen hankkeessa laadittiin selvitys Suomen maatalouden energiankäytöstä. Selvityksessä tarkasteltiin maataloudessa käytettäviä energiamuotoja yleensä sekä eri tuotantosuuntien energiankulutusta. Myös uusiutuvat energiamuodot maataloilla sekä niihin liittyvät tukimahdollisuudet olivat osa selvitystä. Myös maataloudessa uusiutuvien energiamuotojen käytöllä pyritään hillitsemään ilmaston lämpenemistä ja hiilidioksidipäästöjä. Tähän liittyy myös selvityksessä mukana oleva peltojen hiilensidontaa koskeva osuus.

Hanketta toteuttavat Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulun lisäksi Venäjän puolelta pääpartnerina toimiva IEEP (Institute for Engineering and Environmental Problems in Agricultural Production, a branch of the Federal State Budgetary Scientific Institution “Federal Scientific Agriengineering Centre VIM”) ja Leningradin alueen energiatehokkuusvirasto (Government Agency “Center for energy saving and energy efficiency of the Leningrad Region”). Hankkeen toteutusaika on 1.6.2019–31.5.2021, ja sitä rahoittaa Kaakkois-Suomi – Venäjä CBC 2014–2020 -ohjelma.

## MAATALOUDEEN TILANNE SUOMESSA

Maatilojen määrä Suomessa on jo pitkään vähentynyt. Vuonna 2018 maatalous- ja puutarhayrityksiä oli 47 633, joka oli noin 900 vähemmän kuin edellisvuonna. Maatilojen vuotuisen vähentyminen on kuitenkin väliaikaisesti hidastunut, sillä 2010-luvun alkupuoliskolla maatalous- ja puutarhayrityksiä lopetettiin enimmillään noin 2 400 vuodessa. Vuonna 2018 tuotantosuunnittain luokiteltuna oli eniten viljan- ja kasvinviljelyyn suuntautuneita tiloja ja kolmanneksi eniten lypsykarjataloutta. Näistä kasvinviljely on ainoa tuotantosuunta, jossa on viime vuosina ollut havaittavissa selkeää kasvua. Vaikka maatilojen määrä on vähentynyt, ovat niiden koko ja peltoala kuitenkin samalla kasvaneet. Tällä hetkellä suomalaisten maatilojen keskimääräinen peltoala on noin 48 hehtaaria. Yli 80 prosenttia suomalaisista maataloista on perhetiloja, joiden omistajien keski-ikä on noin 53 vuotta. (Luonnonvarakeskus 2019b)

## ENERGIANKULUTUS MAATALOUDESSA

Maatalouden vuosittainen energiankulutus Suomessa on ollut viime vuosina noin 12 TWh, joka on noin kolme prosenttia energian kokonaiskulutuksesta. Maatilojen käyttämästä energiasta 33 prosenttia kulutetaan työkoneiden polttoaineena, 28 prosenttia kuluu lämmityksessä, 17 prosenttia viljankuivaamoissa ja 22 prosenttia on sähköenergiaa. Suurinta energiankulutus on lypsykarjatiloiilla sekä viljanviljelyyn ja puutarhatuotantoon suuntautuneilla tiloilla. Sähkön kulutus maatiloilla on ollut kasvussa johtuen sekä tuotantorakennusten tekniikan lisääntymisestä että valotetun kasvihuonetuotannon kasvusta.

Vuonna 2016 maataloudessa käytetystä energiasta tuotettiin puuhakkeella 3 017 GWh, polttoöljyllä 2 451 GWh ja sähköllä 1 727 GWh. Sähköstä arviolta 777 GWh tuotettiin uusiutuvilla energialähteillä. Luonnonvarakeskuksen (2018a) tietojen mukaan maa- ja puutarhatalouden vuonna 2016 kuluttama energia jakaantui prosentuaalisesti siten, että puu- ja peltopohjaista energiaa kului 44 prosenttia, kevyttä ja raskasta polttoöljyä 31 prosenttia, sähköä 15 prosenttia ja turvetta viisi prosenttia kokonaisenergiankulutuksesta. Uusiutuvan energian osuudeksi ilmoitettiin noin 60 prosenttia, mikä sisältää myös sähkön kulutuksen. Uusiutuvan energian osuus on pysynyt suunnilleen samalla tasolla viime vuosina. Maataloudessa uusiutuvan energian tuotanto nähdään mahdollisuutena sekä kehittää omaa energiankulutusta kestävämpään suuntaan että myös myydä tuotettua energiaa tilojen ulkopuolelle. (Luonnonvarakeskus 2018c, Luonnonvarakeskus 2018d, Työ- ja elinkeinoministeriö 2011)

Kasvin- ja viljanviljelyssä energiankulutukseen vaikuttavat paljon muun muassa peltojen kunto, tuotantotavat, koneiden kunto ja energiatehokkuus sekä sadon säilöntä ja viljan kuivaus. Epäsuoraa energiankulutusta aiheuttavat myös lannoitteiden ja torjunta-aineiden käyttö. Ympärivuotisessa viljelyssä olevat kasvihuoneet ovat merkittäviä energiankuluttajia erityisesti lämmityspolttoaineiden ja sähkön käytön vuoksi (Työ- ja elinkeinoministeriö 2011). Karjatalouden energiankulutusta puolestaan määrittävät muun muassa rakennuksen sisälämpötila, ilmanvaihto, ruokintatapa, lannanpoisto ja koneistus (kuva 1). Myös tuotantosuunnalla on suuri merkitys, sillä esimerkiksi maidontuotannossa erilaisten koneiden käyttö aiheuttaa suurta energiankulutusta, kun taas broilerin- ja sianlihantuotannossa lämmitys vie paljon energiaa. (Ahokas 2013)



**KUVA 1.** Karjataloudessa kuluu paljon energiaa muun muassa rakennusten ilmanvaihtoon ja eläinten ruokintaan (kuva Elisa Korhonen).

## ESIMERKKEJÄ UUSIUTUVISTA ENERGIAMUODOISTA MAATILOILLA

Suomalaisilla mautiloilla on yleensä omistuksessaan myös metsiä, ja metsästä saatavan energian hyödyntäminen on yleistä. Pilkkeiden, halkojen ja metsähakkeen käyttö mautiloilla onkin suosittu energiantuotantomuoto. Metsähakkeen käyttö edellyttää varastointitilaa, usein erillistä lämpökeskusta sekä mahdollisuutta siirtää koneellisesti haketta varastosta polttokattilaan. Maatilojen ympäristö ja koneet sopivatkin hyvin metsähakkeen hyödyntämiseen. Samoin pilkkeiden ja halkojen valmistaminen edellyttää käytettävissä olevia koneita ja varastotilaa. Vähemmän varastotilaa vieviä ja haketta suuremman lämpöarvon omaavia, mutta myös hieman kalliimmaksi tulevia puupellettiä ja -brikettiä voidaan myös polttaa maatilan hakelämpölaitoksen stokeripolttimessa. (Metsäkeskus 2008, Sallinen 2018) Luonnonvarakeskuksen (2018b) tilaston mukaan maatilat ovatkin eniten puuta käyttävä kiinteistötyyppi Suomessa. Kaikkiaan mautiloilla kului lämmityskaudella 2016-2017 yhteensä noin 11,2 miljoonaa m<sup>3</sup> puuta.

Mautiloilla olevia peltoja, jotka ovat poistuneet elintarvike- tai turvetuotannosta, voidaan hyödyntää energiakasvien kasvattamiseen. Näin saatu peltobiomassa voidaan hyödyntää energiantuotannossa nestemäisinä tai kiinteinä polttoaineina tai biokaasuna. Ruokohelpi on yksi esimerkki pelloilla ja turvesoilla kasvatettavista energiakasveista. Myös viljanviljelyn sivutuotteena tuleva olki soveltuu polttoaineeksi, vaikka sen energiatiheys on pieni. Öljykasveja, kuten rypsiä, rapsia ja pellavaa, viljellään myös energiakäyttöä varten. (Motiva 2017)



Maatiloilla muodostuu runsaasti orgaanisia jätteitä, kuten lantaa ja kasvijätteitä, joita voidaan käyttää biokaasutuotantoon. Biokaasulaitosten rakentaminen maatilojen yhteyteen on mahdollista, mutta vaatii suuria investointeja. Maatilatason biokaasulaitoksia, joissa käsitellään lantaa, peltobiomassoja ja jonkin verran myös elintarviketeollisuuden sivuvirtoja, oli vuonna 2019 Suomessa kaikkiaan 20 kappaletta. Suurimmat syyt niiden vähäiseen määrään ovat todennäköisesti suuri kertainvestointi ja biokaasulaitoksen huonohko kannattavuus. Lämmön ja sähkön tuottaminen omaan käyttöön on kannattavaa, sillä tällöin on mahdollista säästyä hintavilta siirtomaksuilta. Jos kuitenkin verkkoon myytävän sähkön tuotannosta halutaan tehdä kannattavaa, tulee biokaasulaitoksen kokoa kasvattaa. Tulevaisuudessa mahdollisesti lisääntyvä biokaasun liikennekäyttö voi tuoda myös maatilojen biokaasutuotannolle laajemmat markkinat. (Luostarinen ym. 2016, Suomen Biokierto ja Biokaasu 2019)

Aurinkoenergia ja lämpöpumput ovat myös mahdollisia maatiloilla käytettäviä uusiutuvan energian muotoja. Aurinkopaneelien asentaminen on melko nopeaa, ja maatiloilla löytyy runsaasti sopivia seinä- ja kattopintoja sekä piha-alueita niiden asentamiseen. Aurinkosähköjärjestelmiä on otettu lisääntyvässä määrin käyttöön myös maatiloilla, ja nykyään aurinkoenergiaa hyödynnetään noin 200 maatilalla (Mustonen 2018). Myös lämpöpumppujen määrä maatiloilla on kasvanut. Maatilojen lämpöpumpuissa voidaan hyödyntää esimerkiksi maasta saatavan lämmön lisäksi muun muassa maidon jäähdätyksen lämmöntalteenottojärjestelmää tai lämmön keräämistä lietekuilusta (ProAgraria Oulu 2012).

Suomessa uusiutuvien energiamuotojen käyttöönottoa maatiloilla pyritään edistämään maatalouden eri tukimuotojen avulla. Esimerkiksi investointitukea myönnetään erilaisia uusiutuvan energian rakentamisinvestointeja, kuten hakelämpölaitoksia ja biokaasulaitoksia, varten. Tuen saamisen ehtona on, että maatila hyödyntää itse tuottamansa energian. Energiatuen saamisen ehtona taas on päinvastainen tilanne, eli maatilalla tuotettavasta energiasta tulee käyttää 80 prosenttia maatilalan ulkopuolella. Energiatuki on tarkoitettu hankkeisiin, jotka edistävät uusiutuvan energian käyttöä tai tuotantoa tai tuotannon tehostamista, sekä hankkeisiin, joilla edistetään energiansäästöä tai energiajärjestelmän muuttamista vähähiiliseksi. (Motiva 2020, Ruokavirasto)

## PELTOJEN HIILENSIDONTA

Maataloudessa on tullut käyttöön termi hiiliviljely, joka tarkoittaa sellaisten viljelymenetelmien käyttämistä, joilla saadaan lisättyä kasvien kasvua ja samalla vähennettyä pelloista ja kasveista vapautuvan hiilidioksidin määrää. Hiiliviljelyyn lukeutuvia menetelmiä ovat muun muassa tasapainoinen lannoitus, viljelykierto, suorakylvö, aluskasvien käyttö ja peltojen ympärivuotisesta kasvipeitteisyydestä huolehtiminen. Peltojen hiilensidontaa lisäävät paljon yhteyttävää lehtipinta-alaa sisältävien kasvien runsaat sadot. Sama vaikutus on myös

runsasjuuristen kasvien, kuten nurmen, viljelyllä sekä monivuotisten kasvien viljelyllä niiden pitkäaikaisen lehtipinta-alan ja suuren juuriston takia. (Yara 2020)

Peltojen toimiminen hiilensitojina edellyttää, että humusta hajoaa vähemmän kuin sitä muodostuu peltoon jäävistä kasvintähteistä, lannasta ja maanparannusaineista. Runsaajuurisilla nurmipelloilla hiilipitoisuus vähenee yksivuotisten kasvien viljelypeltoja hitaammin. Luonnonvarakeskuksen maaperäseurannan perusteella on huomattu peltomaiden pintakerrosten (0–15 cm) hiilipitoisuuden laskeneen Suomessa keskimäärin 0,4 prosenttia vuodessa verrattuna edellisvuoteen, mikä tarkoittaa hiilivaraston vähenemistä noin 200 kg:lla hehtaaria kohden vuodessa. Peltomaiden pintakerroksissa hiilen nykyinen määrä on noin 161 Mt. (Luonnonvarakeskus 2019a)

## **MAATILOJEN ENERGIANKÄYTTÖ TULEVAISUUDESSA**

Uusiutuva energia on jo tällä hetkellä merkittävässä roolissa maatalojen energiantuotannossa, mutta sen käyttö tulee tulevaisuudessa lisääntymään entisestään. Uusiutuvat energialähteet ja tuotantotilojen ja toimintojen energiatehokkuuden parantaminen voivat tarjota maataloille keinon parantaa kannattavuutta sekä myös mahdollisuuksia uuteen liiketoimintaan. Maatilat tarvitsevat kuitenkin tukea uusien ratkaisujen käyttöönottoon sekä neuvonnan että taloudellisen tuen muodossa.

## LÄHTEET

Ahokas, J. (toim.) 2013. Maatilojen energiankäyttö. Enpos-hankkeen tulokset. University of Helsinki. Department of agricultural sciences. PDF-dokumentti.

Luonnonvarakeskus 2019a. Hiilen määrä peltomaassa.

Luonnonvarakeskus 2019b. Maatalous- ja puutarhayritysten rakenne.

Luonnonvarakeskus 2018a. Maatalouden energiankulutus ja uusiutuvan energian osuus. Päivitetty 27.6.2018.

Luonnonvarakeskus 2018b. Polttopuun käyttö lisääntyi seitsemään miljoonaan kuutiometriin. Päivitetty 19.6.2018.

Luonnonvarakeskus 2018c. Suomen virallinen tilasto (SVT): Maa- ja puutarhatalouden energiankulutus. Päivitetty 25.4.2018.

Luonnonvarakeskus 2018d. Sähkö on entistä tärkeämpää maa- ja puutarhataloudessa. Päivitetty 25.4.2018.

Luostarinen, S., Pyykkönen, V., Winquist, E., Kässi, P., Grönroos, J., Manninen, K. & Rankinen, K. 2016. Maatilojen biokaasulaitokset. Mahdollisuudet, kannattavuus ja ympäristövaikutukset. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 11/2016. Luonnonvarakeskus. PDF-dokumentti.

Metsäkeskus 2008. Maatilan hakelämmitysopas. PDF-dokumentti.

Motiva Oy 2020. Investointituet. Päivitetty 29.1.2020.

Motiva Oy 2017. Energiaa pelloilta. Päivitetty 18.5.2017.

Mustonen, E. 2018. Viljelijät investoivat aurinkosähkön tuotantoon. Käytännön maamies 6.12.2018.

ProAgria Oulu 2012. Lämpöpumput.

Ruokavirasto s.a. Maatalouden investointituet.

Sallinen, P. 2018. Pelletti palaa, mutta vaatimattomasti. Energiauutiset. Päivitetty 9.4.2018.

Suomen Biokierto ja Biokaasu ry 2019. Biokaasu ja maatilat.

Työ- ja elinkeinoministeriö 2011. Suomen toinen kansallinen energiatehokkuuden toimintasuunnitelma NEEAP-2. Työ- ja elinkeinoministeriön julkaisuja. Energia ja ilmasto. 32/2011. PDF-dokumentti.

Yara 2020. Viljelykasvit sitovat hiiltä.

# LUOMUTUOTANNON VESISTÖ- JA MAAPERÄVAIKUTUKSET

Leena Pekurinen & Tuija Ranta-Korhonen

Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulussa on käynnissä luomuviljelyn ympäristövaikutuksia tutkiva Environmentally friendly smart organic agriculture –EFSOA -hanke. Hankkeen pääpartneri on Pietarissa sijaitseva maatalousalan tutkimusinstituutti Institute for Engineering and Environmental Problems in Agricultural Production – Branch of Federal State Budgetary Scientific Institution “Federal Scientific AgroEngineering Centre VIM. Lisäksi hankkeeseen osallistuvat Suomesta Luonnonvarakeskus (Luke) sekä Venäjältä kasvinsuojeluun erikoistunut tutkimuslaitos Federal State Budget Scientific Institution “All-Russian Institute of Plant Protection” (FSBSI VIZR). Hanketta rahoitetaan Kaakkois-Suomi – Venäjä CBC 2014–2020 -ohjelmasta, ja sen kesto on 1.3.2020–31.8.2022.

Venäjällä luomutuotanto on vielä hyvin harvinaista, ja kaiken kaikkiaan Suomessa ja Venäjällä luomuviljelyn tilanne ja suhtautuminen luomuun ovat hyvin eri tasoilla. Yksi hankkeen tavoite onkin edistää luomuviljelyä etenkin Venäjällä uudenlaisen monitoroinnin ja viljelijöille suunniteltavan tietokannan ja työkalun avulla. Tietokannan ja työkalun avulla on tarkoitus tarjota viljelijöille ajantasaista tietoa esimerkiksi peltojen ravinnekierrosta, tuholaisten esiintymisestä ja kosteusolosuhteista. Osana EFSOA-hanketta Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulussa selvitetään luomuviljelyn vaikutuksia ympäristöön muun muassa seuraamalla ravinteiden määrää maaperässä ja vesistöissä.

Hankepartnerien tavoitteena hankkeessa on etsiä keinoja vähentää maatalouden negatiivisia vaikutuksia ympäristöön ja vesistöihin. Hankkeessa selvitetään myös, kuinka voitaisiin lisätä maaperän hedelmällisyyttä, hiili- ja typpivarastoja maaperässä ja luomuviljelykasvien satoa. Lisäksi kartoitetaan keinoja saada kuluttajat kiinnostumaan luonnonmukaisista tuotteista ja toisaalta keinoja saada viljelijät siirtymään luonnonmukaiseen tuotantoon.

EFSOA-hankkeen päätavoitteina on a) toteuttaa tieteellistä tutkimusta ja luoda tietoja ja teknisiä edellytyksiä kilpailukykyisen, ympäristölle turvallisen luonnonmukaisen tuotannon kehittämiseksi ja perustaa demonstraatiokohteeksi älykäs luomutila, b) tehdä kattava arvio luonnonmukaisen tuotannon vaikutuksista ympäristöön ja c) tiedottaa luonnonmukaisen maatalouden ja tuotteiden eduista.

## TAUSTAA

Maa- ja elintarviketalouden tutkimuskeskuksen toteuttaman tutkimuksen (Palojärvi ym. 2002, 3, 64–65) mukaan maaperän ominaisuudet tai maaperän eliöstö eivät eronneet paljoakaan toisistaan eri viljelymenetelmissä. Liukoisten ravinteiden (fosfori, rikki, typpi) pitoisuuksissa viljelymenetelmien väliset erot havaittiin selkeimmin. Fosforipitoisuudet olivat tavanomaisessa viljelyssä korkeampia kuin luonnonmukaisessa viljelyssä. Useimmilla luomulohkoilla viljavuusfosforipitoisuus ei riitä viljavuustutkimuksen tulkinnan mukaiseen kasvien tarpeeseen. Luonnonmukaisessa viljelyssä tärkeä fosforin lähde on karjanlanta, jossa merkittävä osa fosforista on orgaanisessa muodossa.

Luonnonmukaisesti viljellyssä maaperässä esiintyy enemmän maaperäeliöstöä kuin tavanomaisesti viljellyssä maaperässä. Lierot ja änkyrimadot parantavat kasvien juuriston olosuhteita muuttamalla kasvimateriaalia mullaksi ja vapauttamalla ravinteet siten kasvien käyttöön. Mahdollisimman suuri määrä lieroja ja änkyrimatoja maaperän eri kerroksissa parantaa maaperän rakennetta ja huokoisuutta. Lierot kaivavat maaperään käytäviä, joita pitkin veteen liuenneet ravinteet kulkeutuvat kasvien käyttöön. Käytävät parantavat myös maaperän ilmanvaihtoa. Änkyrimatojen vaikutuksesta maaperän kalsium, typpi ja fosfori vapautuvat kasvien juurten käyttöön. Haitallisia bakteereja syövät änkyrimadot ehkäisevät bakteerian leviämistä maaperässä. (Ötökkätieto 2016)

Luonnonmukaisessa viljelyssä kasvien ravinteiden saanti riippuu täysin maan pieneliöstön toiminnasta. Yksipuolinen viljely alentaa maan eliöstön määrää ja toimintakykyä. Maaperän kuollut orgaaninen aines hajoaa muokkauksen seurauksena nopeasti, jolloin viljelymaiden eloperäisen aineksen pitoisuus alenee ja maaperäeliöstön elinolot heikkenevät. Tavanomaisessa viljelyssä torjunta-aineiden vaikutuksesta maan mikrobiaktiivisuus voi hetkellisesti nousta, mutta erityisen haitallisia maaperän eliöstölle ovat fungisidit, joita käytetään sienitautien torjuntaan, sekä insektisidit, joita käytetään tuhoeläinten torjuntaan. (Palojärvi ym. 2002, 12–13)

Maassa olevat makrohuokokset, joiden halkaisija on yli 0,03 mm, edesauttavat sadeveden imeytymistä maahan. Kun vesi imeytyy nopeasti maahan, pintavirtaus ja sitä kautta eroosio ja fosforin huuhtoutuminen ovat vähäisempiä. Kosteassa maassa maan kaasut vaihtuvat makrohuokostoa pitkin parantaen juurten hapen saantia ja ehkäisten typen kaasumaisia päästöjä. Huokosto vaikuttaa myös maan vedenpidätyskykyyn ja sitä kautta kasvien mahdollisuuteen hyödyntää huokostoon pidättyntä vettä. Maan kuohkeuteen voidaan vaikuttaa oikea-aikaisella muokkauksella ja peltoliikenteellä. Maan orgaanisen aineen määrään voidaan vaikuttaa viljelykierron ja karjanlannan käytöllä. Runsaalla karjanlannan käytöllä voidaan ehkäistä humuskatoa, kun taas avokesannoinnilla humusta kului enemmän kuin viljan viljelyssä. (Palojärvi ym. 2002, 13–14)

Peltoviljelystä peräisin olevat ravinne- ja hiilipäästöt voivat aiheuttaa vesistöjen rehevöitymistä. Rehevöityminen vaikuttaa vesistöjen ekosysteemiin, mikä näkyy muun muassa veden samentumisena, runsaana kasvillisuutena ja talvisena happikatona. (Biologian ja maantieteen opettajien liitto BMOL ry.) Hyvillä viljelytekniikoilla ja monipuolisella viljelykierrolla voidaan ilmastoa lämmittäviä hiiliyhdisteitä ja vesistöjä kuormittavia ravinteita sitoa maaperään. Vesistöihin huuhtoutuvien typpipäästöjen määrää voidaan todennäköisesti vähentää luomuviljelyllä. (Luomuinstituutti ym.) Viljelykierto ja eloperäisten tai luonnon vaikealiukoisten kiviaineisten käyttö lannoitteina on luonnonmukaisen viljelyn perusta. Kemiallisia lannoitteita ja torjunta-aineita ei sallita. Euroopan unionin alueella luonnonmukaisesti tuotetuille markkinoitaville maataloustuotteille ja elintarvikkeille asetetut vähimmäisvaatimukset sisältyvät EU:n neuvoston asetuksiin 2092/91 ja 436/2001. Suomessa Luomuliitto ja Biodynaaminen yhdistys ovat asettaneet omia lisäehtoja luonnonmukaisen tuotannon merkkien käytölle. (Palojärvi ym. 2002, 14–15)

## SEURANTA JA MONITOROINTI

Ympäristön tilassa tapahtuvat muutokset ovat usein hitaita, ja niiden havaitseminen vaatii pitkäaikaista ja säännöllistä seuranta. Ympäristön seuranta tarkoittaa ”seurattavien muuttujien toistuvaa mittaamista ajallisten ja paikallisten vaihteluiden ja muutosten toteamiseksi”. Tarkoituksena on selvittää muutokset ympäristön tilassa maaperässä, vesistöissä, eliöstössä jne. Online-mittaukset on alun perin kehitetty teollisuuden tarpeeseen, mutta nykyään online-mittausta toteutetaan myös etämonitorointina ympäristösovelluksissa. Näytteitä voidaan kerätä käsin sekä erilaisten antureiden, dronejen, lentokoneiden ja laivojen avulla. Myös satelliittimittauksilla saatua tietoa käytetään joissakin ympäristösovelluksissa. (Poutiainen 2015)

Vesistöjen tilan seuranta on jatkuvaa valtakunnallisesti ja alueellisesti sekä velvoitetarkkailulla. Vesistöjen velvoitetarkkailujen tulokset kirjataan valtakunnalliseen rekisteriin, jota ylläpitää SYKE. SYKE hallinnoi myös HERTTA-ympäristötiedon hallintajärjestelmää, joka sisältää vesivarojen ja ympäristön seuranta, ympäristön kuormituksen valvontaa, luonnonsuojelua sekä alueiden käytön suunnittelua ja ohjausta palvelevia tietojärjestelmiä. Ympäristö- ja paikkatietopalvelu Oivaan on koottu ympäristönsuojelun tietojärjestelmä Vahdin ja ympäristötiedon hallintajärjestelmä Hertan vapaan käyttöoikeuden piiriin kuuluvat aineistot. Se sisältää tietoa vesivaroista, pintavesien tilasta, pohjavesistä, eliölajeista, ympäristön kuormituksesta ja alueiden käytöstä sekä ympäristöön liittyviä paikkatietoaineistoja. Ympäristön monitorointia ja seuranta toteuttavat lukuisat laitokset. Kullakin laitoksella on omat seurannan kohteet. (Poutiainen 2015)

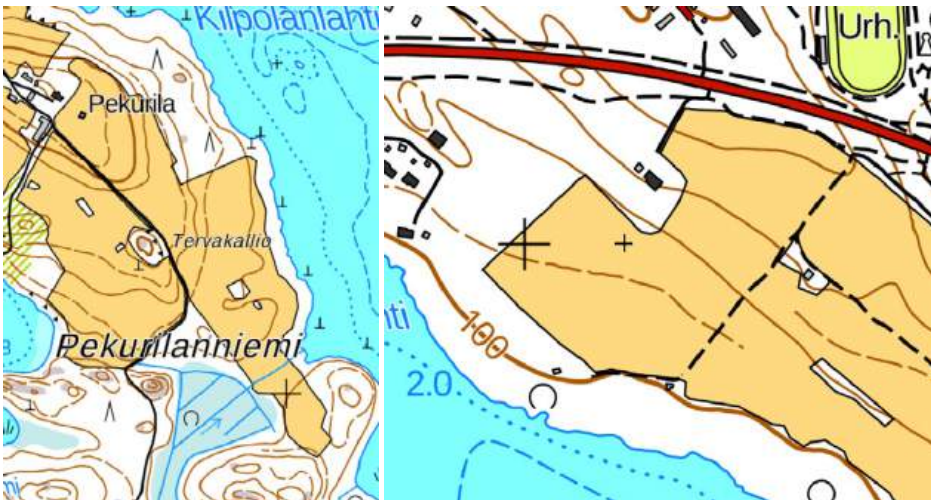
Pintavesien tilaa seurataan keräämällä tietoa havaintopaikoista otettujen vesinäytteiden fysikaalisista ja kemiallisista muuttujista sekä biologisista tekijöistä. Fysikaalisia ja kemiallisia muuttujia ovat esimerkiksi lämpötila, fosfori-, typpi- ja happipitoisuus sekä levissä

ilmenevän klorofylli-a:n pitoisuus. Biologisia tekijöitä ovat esimerkiksi kasviplankton, pohjaeläimet, vesikasvit ja kivien pinnoille kiinnittynyt päällysväestö. Fysikaalisten ja kemiallisten muuttujien määrittämiseksi vesinäytteet otetaan säännöllisesti vähintään kaksi kertaa vuodessa. Biologisia tekijöitä seurataan havaintopaikoilla 1–6 vuoden välein. (Suomen ympäristökeskus SYKE 2016)

Maaperän laatua voidaan parhaiten havainnoida paikallisilla mittauksilla tai luotauksilla sekä maan pinnanmuotojen kaukokartoituksella. Maatalouden tarpeet liittyvät muun muassa lannoitustarpeen selvittämiseen ja maaperässä olevien haitallisten aineiden määrittämiseen. Velvoitetarkkailuun liittyvästä ympäristömonitoroinnista vastaavat alueelliset vesiensuojeluyhdistykset. (Poutiainen 2015)

## TUTKIMUSKOHTEIDEN TIEDOT

Tarkasteltavana on kaksi kohdetta: ”Saunapelto” ja ”Kekkonen”. Ne sijaitsevat Juvan kunnan alueella. Saunapellon pinta-ala on 11,76 ha ja Kekkonen pinta-ala 6,88 ha. Kummankin pelto-lohkon pinta- ja pohjamaat ovat hiekkamoreenia. Kekkonen rannassa maa on hietamaata. Kuvassa 1 on esitetty kohteet kartalla. Tarkasteltava alue on vaaleanvihreänä. Maaston korkeuserot on merkitty ruskein viivoin kartalle. Pelloilla on toteutettu luomuviljelyä yli 20 vuoden ajan.



**KUVA 1.** Vasemmalla Saunapelto ja oikealla Kekkonen. Saunapellon maa viettää itä-koilliseen rantaa kohti. Kekkonen maa viettää loivasti lounaaseen rantaa kohti (Lähde: Maanmittauslaitos – Karttapaiikka)

Saunapellolla viljellään tällä hetkellä syysrypsiä ja Kekkosella nurmea. Syysrypsi on tarkoitus puida heinäkuun lopulla 2021. Kummallakin lohkolle noudatetaan viiden vuoden viljelykiertoa. Viljelykierrossa käytetään esikasvina hernettä, joka on hyvä typensitojaka-  
svi.

Suojakasvina on viljelty kevätkuvehnää ja kauraa. Välivuosina peltolohkoilla viljellään monivuotista heinää. Aktiivisella viljelykierrolla edistetään peltojen kasvukuntoa, parannetaan hiilen ja typen sidontaa, alennetaan kasvitautilisärisiä ja torjutaan rikkakasveja.

## KOYTEIDEN SEURANTA JA MONITOROINTI

Seurannan ja monitoroinnin tarkoituksena on kerätä tietoa luomuviljelyn ympäristövaikutuksista. Kohteista otetaan näytteitä vähintään kaksi kertaa vuodessa: keväällä ennen kylvää ja syksyllä sadonkorjuun jälkeen. Lisäksi näytteitä otetaan silloin, kun jotain muuttuu, esimerkiksi lannoituksen jälkeen. Monitorointia ja seuranta toteutetaan silmämääräisesti ja ottamalla valokuvia sekä mahdollisuuksien mukaan maanpinnan alapuolisilla antureilla. Lisäksi tutkitaan mahdollisuutta hyödyntää multispektrikuvausta dronea hyväksi käyttäen. Taulukossa 1 on esitetty alustava suunnitelma monitoroinnista ja näytteenotosta.

**TAULUKKO 1.** Monitorointi ja näytteenotto

<b>Multispektrikuvaus (dronekuvaus)</b>	Multispektrikuvaus saadaan ilmakuvaa alueesta ja sen perusteella voidaan määrittää kasvuston kuntoa ja rikkakasvustoa. Multispektrikuvaus toteutetaan touko-kesäkuun vaihteessa 2021.
<b>Online-monitorointi</b>	Peltolohkolle sijoitetaan antureita, jotka keräävät tietoa maaperän kosteudesta, lämpötilasta ja sähkönjohtavuudesta.
<b>Silmämääräinen tarkastelu</b>	Säännöllisellä silmämääräisellä tarkastelulla nähdään kasvuston kehitys ja kunto sekä tuholaisien esiintyminen. Kuvat alueista otetaan eri vuodenaikoina ennen kasvukautta, kasvukaudella ja kasvukauden loppuvaiheessa sekä sadonkorjuun jälkeen.
<b>Maanäytteet</b>	Näytteitä otetaan keväällä ennen kylvää, syksyllä sadonkorjuun jälkeen ennen kyntöä sekä aina, kun jotain on tehty, ts. muutosten jälkeen. Maaperäbiologisten ja maanrakennusnäytteiden otolle kevät ja syksy ovat kosteusolojen vuoksi parhaat ajankohdat, koska viljelykasvit vaikuttavat vähemmän kuin kasvukauden aikana maaperän ollessa kuiva.
<b>Vesinäytteet</b>	Veden kulkeutumisreitit selvitetään ja vesinäytteitä otetaan sellaisista paikoista, johon kulkeutuu valumavesiä pellolta (laskuojat). Vesinäytteet otetaan maanäytteiden oton kanssa samaan aikaan.

Maaperänäytteitä otetaan niin, että yksi näyte edustaa enintään viiden hehtaarin pinta-alaa. Pienemmästä (6,88 ha) kohteesta valitaan kaksi näytealaa ja suuremmasta (11,76 ha) kohteesta kolme näytealaa. Molemmat kohteet sijaitsevat vesistön lähellä. Vesinäytteet otetaan niistä kohdista, joissa laskuoja johtaa järveen. Laskuojan puuttuessa paikka valikoidaan sen mukaan, miten valumavesien arvioidaan kulkeutuvan järveen. Ensimmäiset näytteet otetaan keväällä 2021.



## TULOKSET

Hankkeen tarkoituksena on edistää luomuviljelyä tarjoamalla viljelijöille ja kuluttajille tietoa luomuviljelystä. Uudenlaisten monitoroinnin ja siitä saatujen tulosten avulla luodaan tietokanta ja työkalu viljelijöiden käyttöön. Ympäristössä tapahtuvat muutokset ovat hitaita, ja niiden havaitseminen vaatii pitkäaikaista seuranta. Tämän vuoksi hanketoiminnan rajallinen kesto asettaa omat rajoituksensa ja haasteensa. EFSOA-hankkeen hankepartnereiden monipuolinen kokemus ja hankkeessa tehtävä yhteistyö ovat kuitenkin apuna tätä haastetta ratkaistaessa.

Monitoroinnin ja näytteenoton analyysien tulokset kootaan yhteen, analysoidaan ja verrataan muissa tutkimuksissa saatuihin tuloksiin. Tuloksia hyödynnetään EFSOA-hankkeessa luomuviljelyn viljelykäytäntöjen vaikutusten arvioimiseen maaperän typen ja hiilen kiertoon. Näytteiden kemiallisten ja fysikaalisten ominaisuuksien lisäksi raportoidaan säätiedot, maaperän ominaisuudet ja satokohtaiset tiedot.

Syksyn ja tulevan talven aikana laaditaan tarkempi seuranta- ja monitorointisuunnitelma ja määritellään analysoitavat parametrit hankkeen tarpeiden mukaisesti. Ensimmäiset tulokset ovat odotettavissa alkukesästä 2021.

## LÄHTEET

Biologian ja maantieteen opettajien liitto BMOL ry. s.a. 5. Rehevöityminen. WWW-dokumentti. Saatavissa: [https://peda.net/yhdistykset/bmol-ry/oppimateriaalit/eyy/yhteinen\\_ymparisto/rehev%C3%B6ityminen](https://peda.net/yhdistykset/bmol-ry/oppimateriaalit/eyy/yhteinen_ymparisto/rehev%C3%B6ityminen) [viitattu 13.10.2020].

Maanmittauslaitos – Karttapaikka. Karttakuvat peltoalueista. Saatavissa: <https://asiointi.maanmittauslaitos.fi/karttapaikka/> [viitattu 15.10.2020].

Luomuinstituutti, Luomuliitto ry & Pro Luomu ry. Luomu, vesistöt ja ilmasto. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://luomu.fi/miksi-luomua/vesisto-ja-ilmastovaiikutukset/> [viitattu 21.9.2020].

Palojärvi, A., Alakukku, L., Martikainen, E., Niemi, M., Vanhala, P., Jörgensen, K. & Esala, M. 2002. Luonnonmukaisen ja tavanomaisen viljelyn vaikutukset maaperään. PDF-dokumentti. Maa- ja elintarviketalouden tutkimuskeskus. MTT, Tietopalvelut. Saatavissa: <https://jukuri.luke.fi/handle/10024/451885> [viitattu 10.9.2020].

Poutiainen, H. 2015. Ympäristön monitorointi ja mallintaminen. Yhteenveto. Luentoaineisto. Ympäristöteknologia. Mikkelin ammattikorkeakoulu. PPT-dokumentti [viitattu 11.9.2020].

Suomen ympäristökeskus SYKE. 2016. Pintavesien tilan seuranta. WWW-dokumentti. Päivitetty 31.1.2020. Saatavissa: [https://www.ymparisto.fi/fi-FI/Vesi/Pintavesien\\_tila/Pintavesien\\_tilan\\_seuranta/Pintavesien\\_tilan\\_seuranta\(25891\)](https://www.ymparisto.fi/fi-FI/Vesi/Pintavesien_tila/Pintavesien_tilan_seuranta/Pintavesien_tilan_seuranta(25891)) [viitattu 22.9.2020].

Ötökkätieto. 2016. Lierot, änkyrimadot. WWW-dokumentti. Saatavissa: <http://www.otokkatieto.fi/cat?id=48> [viitattu 21.9.2020].

# THE ENVITOX PROJECT PROVIDES NEW INFORMATION ON THE ENVIRONMENTAL IMPACTS OF THE KRASNY BOR TOXIC WASTE LANDFILL

Vuokko Malk & Jaana Jarva & Tarja Hatakka & Kristiina Nuottimäki & Elena Kuznetsova

The Krasny Bor toxic waste landfill is located in the Leningrad region, 30 km from the centre of St. Petersburg. From 1969, 2 million tonnes of toxic waste was accumulated in 70 ponds excavated in the Cambrian clay. The Baltic Marine Environment Protection Commission (HELCOM) has identified the Krasny Bor landfill as a major hot spot in the Baltic Sea Region from 1993 to the present. The landfill stopped accepting toxic waste in 2014 and since 2016 measures to eliminate the accumulated environmental damage have been carried out. The main part of the environmental activities is concentrated on the territory of the landfill and its sanitary protection zone. Environmental assessment outside this area has not been provided systematically.

The cross-border co-operation project “Environmental impacts of the Krasny Bor toxic waste landfill – EnviTox” enables the obtaining of objective information about the current environmental status of the territory. Based on the vulnerability and risk analysis, feasible risk management methods for improving the status of the environment will be given.

EnviTox (1.3.2019–28.2.2022) is a co-operative project between the State Geological Unitary Company «Mineral», the Institute of Limnology (Russian Academy of Sciences), the Institute of Precambrian geology and geochronology (Russian Academy of Science), the Geological Survey of Finland (GTK) and the South-Eastern Finland University of Applied Sciences (Xamk). The project is implemented under the framework of the Cross-Border Cooperation Programme South-East Finland – Russia 2014–2020.

## ENVIRONMENTAL SAMPLES FROM THE STUDY AREA

Constructed canals, ditches and streams coming from the landfill area, flow towards the larger Izhora and Tosna rivers, which eventually flow into the Neva River and the Baltic Sea. The landfill is built on a very thick clay layer, which can prevent contaminant trans-

port to the groundwater. The landfill is surrounded by forest and swamp areas but there are also illegal dumping sites, agriculture, industry and small villages near the landfill. The EnviTox study area is located between Izhora and Tosna rivers and it covers 65 km<sup>2</sup>. During the EnviTox project, three sampling rounds are to be implemented in the study area surrounding the Krasny Bor landfill site.

The first sampling round took place in August 2019. Altogether 122 soil samples, 22 stream sediment samples, 22 surface water samples as well as 5 groundwater samples were taken from the project study area and analysed for several elements and organic compounds. The aim of the first sampling round was to get an overall picture of the environmental status in the Krasny Bor toxic waste landfill surroundings and also detect the illegal dumping sites and the toxic waste disposal sites that exist in the study area. The second sampling round was conducted in autumn 2020 and it concentrates on more detailed studies of selected sites to support the environmental risk assessment. At the third sampling stage, snow samples will be taken in order to find out the possible impact of atmospheric deposition from the landfill. In addition to the three individual sampling stages, surface water quality is monitored in the area using automatic online monitoring as well as regular sampling. Mathematical modelling methods are used to assess potential discharges of pollutants to the Neva river within different climate change scenarios.

Based on the results, environmental risk assessment and recommendations to minimise the identified risks are made to improve the environmental state in the area.

## **CROSS-BORDER CO-OPERATION ENABLES THE EXCHANGE OF GOOD PRACTICES**

The role of the Finnish partners, GTK and Xamk, in the project is to provide expertise in the field of environmental and geochemical sampling and monitoring, quality assurance as well as vulnerability and risk assessments.

In order to ensure the good quality of sampling with uniform methods, training for the personnel attending to the sampling is fundamental. Xamk is authorised by the Finnish Environment Institute to give certified sampling training in Finland in the area of soil and solid waste sampling and water sampling and measurement. Before the first sampling round, Xamk organised sampling training for project personnel in Mikkeli. Guidelines for sampling, including detailed instructions for the fieldwork and the sampling plan, were established by the project team (Hatakka et al. 2019). The Finnish partners also participated in the fieldwork in the study area and visited the Krasny Bor landfill in August 2019 (Figure 1).



**FIGURE 1.** Finnish and Russian project partners took samples together in the study area surrounding the Krasny Bor landfill in August 2019 (photo Vitaly Bogomolov).

The fieldwork findings and chemical analysis results are interpreted in co-operation with the Russian and Finnish project partners. The Finnish partners have also a role in assessing the validity and the quality assurance of the results. In the quality control report on the first sampling stage (Hatakka et al. 2020), the quality assurance process from the start (field sampling) to the finish (laboratory analysis) including the results of the quality control samples has been discussed. Recommendations were given for the next sampling stages.

The project has provided a good opportunity for the exchange of information between Finnish and Russian methods on environmental and geochemical sampling and chemical analysis as well as results interpretation. Comparing and combining different methods utilised in Russia, Finland and the EU, and sharing best practices will strongly support environmental risk assessment. The final conclusion on the state of the environment in the study area will be made after all three sampling stages are complete. All the final results will be published on the project's web page: <https://envitox.infoeco.ru/>

## REFERENCES

Hatakka, T., Jarva, J., Nuottimäki, K., Malk, V., Sormunen, A., Lehesvaara, M. & Tomilina, O. 2019. EnviTox – Guidelines for Sampling, Analysis and Quality Assurance. Geological Survey of Finland. GTK Open File Work Report 62/2019. 43 p. + 9 appendices. WWW-document. Available: [http://tupa.gtk.fi/raportti/arkisto/62\\_2019.pdf](http://tupa.gtk.fi/raportti/arkisto/62_2019.pdf)

Hatakka, T., Malk, V., Jarva, J., Savenkova, G. & Nuottimäki, K. 2020. EnviTox – Quality Control of the First Fieldwork and Sampling Stage. Geological Survey of Finland. GTK Open File Work Report 32/2020. 50 p. + 1 appendix. Available soon online.

# THE FUTURE DEVELOPMENT OF AN ELECTRICITY PRICE STRUCTURE AND THE POSSIBILITIES FOR ADVANCING SOLAR POWER PRODUCTION IN FINNISH SOCIETY

Juha Korpijärvi

This article discusses electricity pricing and the profitability of solar electricity production in Finland through future solar electricity pricing scenarios. The price of electricity in the study scenarios is divided into fixed and variable parts. The calculations are based on measured actual electricity consumption data for six households. The payback times of a solar power plant are presented in the case of two electricity pricing scenarios compared to today's actual electricity pricing and proposed pricing model. The article also raises subject related recommendations for the authorities.

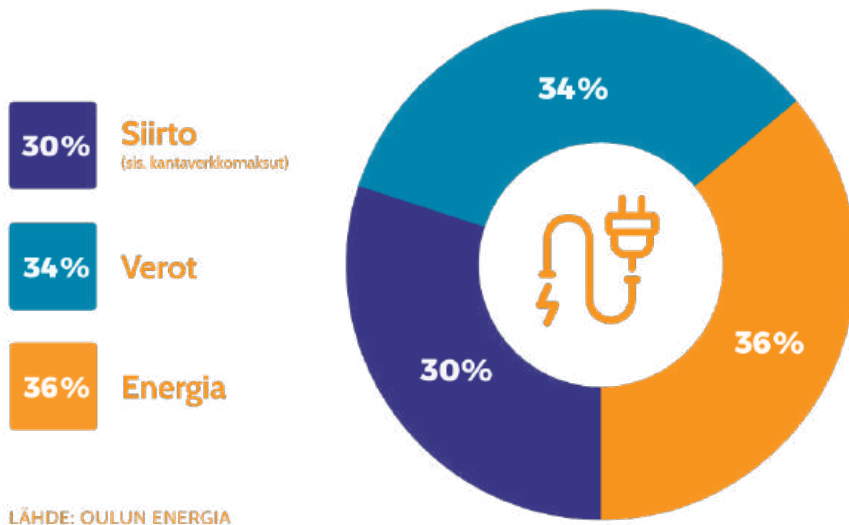
## INTRODUCTION

The article is part of the Green Energy Regional Markets Development (Green ReMark) project, funded by the South-East Finland–Russia CBC 2014–2020 programme and project partners. The aim of the project is to promote cooperation across the border between the EU Member State Finland and the Russian Federation. The Green ReMark project supports the growth potential of the new and attractive green economy, its commercialisation, and awareness raising. The Green ReMark project partners are Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, the South-Eastern Finland University of Applied Sciences, Miksei Oy and Neva Energy Ltd.

The economic potential of renewable energy resources depends not only on the price of these resources but also on political support and on the structure of energy prices. In this report, the price structure of electricity is examined, as is how it could be developed in the future so that the use of renewable energy resources can be advanced. A proposition for operations to advance these renewable resources is also given.

## THE ELECTRICITY PRICE STRUCTURE IN FINLAND FOR A PRIVATE CUSTOMER

The energy price in Finland consists of three main components. Energy represents about a third of the total cost of electricity. Transmission represents a third part, with taxes representing the last third. Of course, these divisions vary according to the company, but the scale is generally similar. For example, in the city of Oulu the divisions are as presented in Figure 1. (Optiwatti 2019)



**FIGURE 1.** The structure of the energy price for private houses in Oulu. Siirto (transmission), Verot (taxes), Energia (energy). (figure Oulun Energia Oy)

The transmission price consists of a fixed part (about 60 %) and the energy depending part (about 40 %). The government of Finland requires that prices should be cost neutral. That means that about 95 % of electricity transmission should be power depending or fixed, with only 5 % of the price energy varying.

If the total cost of electricity is 16 cents/kWh, the normal situation today is that the fixed part is about 4.5 c/kWh and the energy depending part of the total cost is about 11.5 c/kWh.

## THE COST DEPENDING FORMULATION OF ELECTRICITY PRICES IN THE FUTURE

There is pressure for energy prices to be cost neutral. That means increasing the power (or fixed costs) depending part within the components of electricity in the future. There are two different scenarios to this future. The first is that the fixed or power depending part of



electricity prices increases from 4.5 c/kWh up to 7.13 c/kWh, and the other scenario is that the fixed or power depending part increases up to 10.32 c/kWh. The latter price (10.32 c/kWh) means that 95 % of the transmission costs are fixed and that 100 % of the taxes are fixed. The first scenario has 7.13 c/kWh fixed and 8.88 c/kWh energy depending, and the second is that 10.32 c/kWh is fixed with 5.68 c/kWh being the energy depending costs. The price data is presented in Table 1.

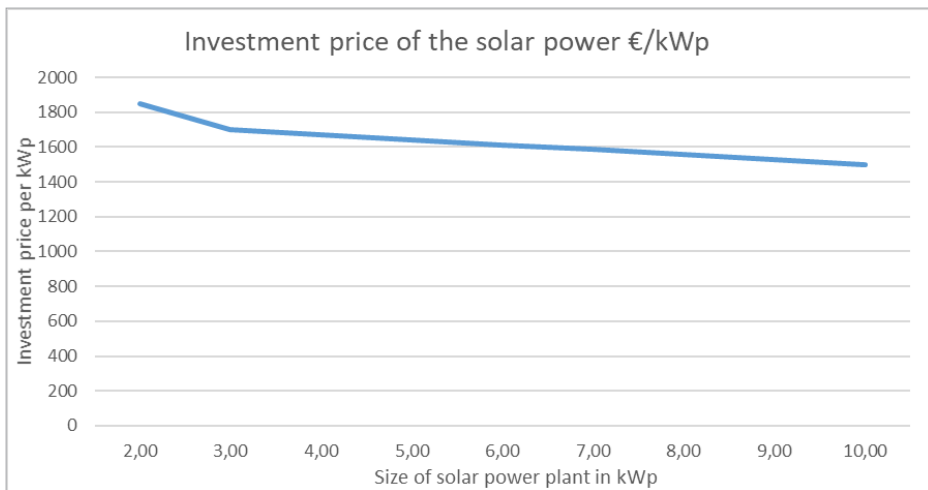
**TABLE 1.** The structure of the electricity price today and in two different future scenarios. Total price of electricity is 16 c/kWh.

		Transmission			Energy			Taxes		Total	
		30 %			34 %			36 %		100 %	
<b>Today</b>		4,8	c/kWh		5,44	c/kWh		5,76	c/kWh	16,00	c/kWh
Fixed	60 %	2,88	c/kWh	0 %	0	c/kWh	28,13 %	1,62	c/kWh	4,50	c/kWh
Flexible part	40 %	1,92	c/kWh	100 %	5,44	c/kWh	72 %	4,14	c/kWh	11,50	c/kWh
		Transmission			Energy			Taxes		Total	
		30 %			34 %			36 %		100 %	
<b>Scenario1</b>		4,8	c/kWh		5,44	c/kWh		5,76	c/kWh	16,00	c/kWh
Fixed	95 %	4,56	c/kWh	0 %	0	c/kWh	45 %	2,57	c/kWh	7,13	c/kWh
Flexible part	5 %	0,24	c/kWh	100 %	5,44	c/kWh	55 %	3,20	c/kWh	8,88	c/kWh
		Transmission			Energy			Taxes		Total	
		30 %			34 %			36 %		100 %	
<b>Scenario2</b>		4,8	c/kWh		5,44	c/kWh		5,76	c/kWh	16,00	c/kWh
Fixed	95 %	4,56	c/kWh	0 %	0	c/kWh	100 %	5,76	c/kWh	10,32	c/kWh
Flexible part	5 %	0,24	c/kWh	100 %	5,44	c/kWh	0 %	0,00	c/kWh	5,68	c/kWh

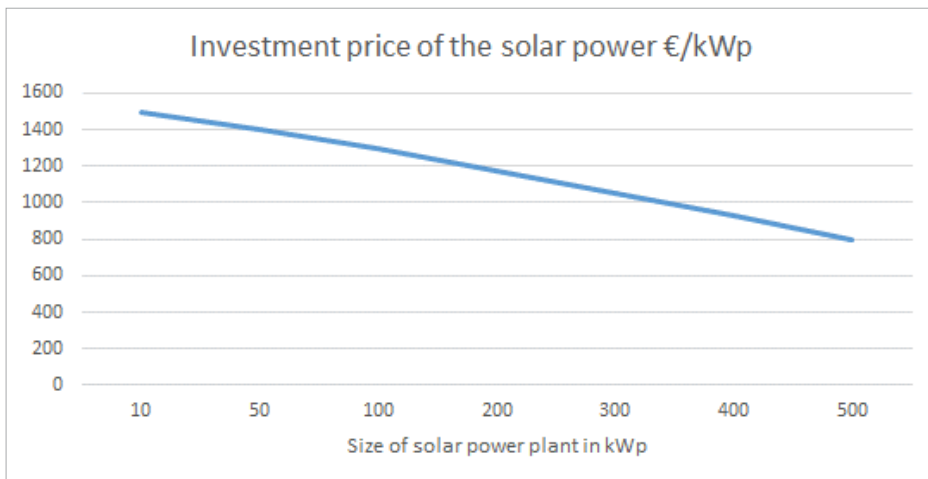
Scenario 1 is built so that the structure of the transmission price follows the cost basics, with taxes paid according to the transmission and energy price structure. Scenario 2 guarantees taxes for the government regardless of the energy consumption level, meaning taxes are all paid and fixed in Scenario 2.

## THE INVESTMENT PRICE OF THE SOLAR ENERGY SYSTEM

Two different solar sizes are examined in this chapter. The first is a 2–6 kW solar panel system, built by a private householder, and the second is a 10–200 kW solar panel system, built by an energy community. The solar panel prices are presented in Figures 2 and 3.



**FIGURE 2.** The investment price of solar panels (including the installation work) in a small-scale (2–10 kW) production system (Korpijärvi & Tanskanen 2019)



**FIGURE 3.** The investment price of solar panels (including the installation work) in a large-scale (10–500 kW) production system (Korpijärvi & Tanskanen 2019)

## THE ECONOMIC POTENTIAL OF SOLAR ENERGY IN TODAY'S ELECTRICITY PRICE STRUCTURE

In this study, household electricity consumption was analysed using the digitally monitored hourly electricity consumption of six real-life household cases (Hokkanen), (Korpijärvi), (Tanskanen), (Soininen), (Ranta-Korhonen). Each of the electricity consumption cases represents an example of domestic electricity and buildings in the South Savo (Finland) area. The study group was purposely chosen as heterogeneous in building size, number of inhabitants, heating system and type of use. The building sizes studied varied between 67 and 167 m<sup>2</sup>, the number of inhabitants varied between two and five, and the heating systems represented were electric heating, district heating and thermal heating. Four of the study cases were private family houses. The fifth study case was a household with a separate livestock building connected to the household's electric consumption network. Lastly, the sixth study case was a privately owned summer cottage. Both the fifth and sixth study cases are typical of the South Savo area and are therefore of value to the study.

The study group of six South Savo household cases is presented in Table 2, where they are numbered from 1 to 6 as individual consumption cases. Table 2 includes electricity consumption, maximum power, building surface area and source of heating.

**TABLE 2.** Household cases analysed in the study

Case	Yearly electricity consumption	Maximum power	Surface area	Heating system
1	21 554 kWh	12.91 kW	130 m <sup>2</sup>	Thermal heating
2	13 909 kWh	7.32 kW	122 m <sup>2</sup>	Electric heating
3	14 664 kWh	6.68 kW	167 m <sup>2</sup>	Thermal heating
4	8 696 kWh	8.13 kW	67 m <sup>2</sup>	Electric heating
5	15 549 kWh	7.23 kW	83 m <sup>2</sup>	Electric heating
6	4 497 kWh	4.33 kW	120 m <sup>2</sup>	District heating

Table 2 demonstrates that the study cases vary, with annual electricity consumption between 4 497 and 21 554 kWh. However, to be able to study the solar energy production in each case, the basic information for the household cases studied has been utilised to obtain the information on what would be a suitable size for each individual solar energy system. The results are presented in Table 3, where the minimum size for the solar panel system was considered to be 2 kW.

**TABLE 3.** Capacity of the households to use solar energy

Case	Solar panel size	Solar energy production	Share used in households' own consumption
1	3 kW	2 384 kWh	71 %
2	2 kW	1 617 kWh	72 %
3	3 kW	2 390 kWh	74 %
4	2 kW	1 620 kWh	48 %
5	4 kW	3 130 kWh	72 %
6	2 kW	1 594 kWh	45 %

Table 3 lists the solar system sizes, the modelled solar energy production and the percentage of the energy being utilised in the household itself for each study case. It should be noted that the simulation for cloudiness using a random factor is the reason why the same sized systems have produced different amounts of energy. However, each of the cases has had a maximum load of between 797–810 hours per year.

The results in Table 3 indicate that cases 1, 2, 3 and 5 would be able to use more than 70 per cent of the solar energy in their households, whereas cases 4 and 6 could utilise less than 50 per cent. This ratio indicates that cases 4 and 6 would not be able to utilise enough solar energy for it to be economically feasible for them (Motiva, 2019).

In addition, the economics of the solar system needed to be studied in more detail to see what the investment for each household case would be. These results are stated in Table 4, where due to Table 3's outcome, cases 4 and 6 are excluded.

**TABLE 4.** The economy of single households producing and using solar energy. (Parameters Table 1. Today – prices)

Case	Annual solar energy production	Investment required	Economic yield during 1st year	Payback time (a)
1	2 384 kWh	4 590 €	183 €	17 years
2	1 617 kWh	3 330 €	125 €	18 years
3	2 390 kWh	4 590 €	190 €	17 years
4	-	-	-	-
5	3 130 kWh	6 115 €	243 €	17 years
6	-	-	-	-

In the results the drift and maintenance cost of solar energy is assumed to be 1.5 c/kWh. The selling price of the extra solar energy production to the national grid is 3.5 c/kWh. In the payback time results the growth of the electricity price is assumed to be 4 % annually.

## THE ECONOMIC POTENTIAL OF SOLAR ENERGY IN DIFFERENT ELECTRICITY PRICE SCENARIOS

**TABLE 5a.**The economy of single households producing and using solar energy. (Parameters Table 1. Scenario 1 – prices)

Case	Annual solar energy production	Investment required	Economic yield during 1st year	Payback time (a)
1	2 384 kWh	4 590 €	138 €	21 years
2	1 617 kWh	3 330 €	95 €	22 years
3	2 390 kWh	4 590 €	143 €	21 years
4	-	-	-	-
5	3 130 kWh	6 115 €	184 €	22 years
6	-	-	-	-

The payback times in every case are 4 years more than now.

**TABLE 5b.**The economy of single households producing and using solar energy. (Parameters Table 1. Scenario 2 – prices)

Case	Annual solar energy production	Investment required	Economic yield during 1st year	Payback time (a)
1	2 384 kWh	4 590 €	84 €	More than 25 years
2	1 617 kWh	3 330 €	57 €	More than 25 years
3	2 390 kWh	4 590 €	87 €	More than 25 years
4	-	-	-	-
5	3 130 kWh	6 115 €	111 €	More than 25 years
6	-	-	-	-

In every case the payback times are more than 25 years and investment in the solar systems cannot be argued for economically.

## PROPOSITION FOR THE ENERGY PRICING STRUCTURE AND TAX STRUCTURE FOR FINNISH SOCIETY IN THE FUTURE

The electricity price proposition is based on the 95 % fixed part of the electricity transmission price and the 100 % flexible part of the energy price. The taxes are 83 % flexible and based on the amount of sold energy. The fixed part of the taxes is only the valued added tax of the electricity transmission.

**TABLE 6.** The structure of the electricity price in the proposition case

	Transmission			Energy			Taxes		Total		
	30 %			34 %			36 %		100 %		
<b>Proposition</b>	4,8	c/kWh		5,44	c/kWh		5,76	c/kWh	16,00	c/kWh	
<b>Fixed</b>	95 %	4,56	c/kWh	0 %	0	c/kWh	17 %	1,00	c/kWh	5,56	c/kWh
<b>Flexible part</b>	5 %	0,24	c/kWh	100 %	5,44	c/kWh	83 %	4,76	c/kWh	10,44	c/kWh

This case is calculated based on the Table 6 electricity pricing structure. In this case it is also assumed that the government gives 10 % support to solar production investments.

**TABLE 7.** The economy potential of solar energy in the proposed electricity structure

Case	Annual solar energy production	Investment required	Economic yield during 1st year	Payback time (a)
1	2 384 kWh	4 131€	165 €	17 years
2	1 617 kWh	2 997 €	113 €	18 years
3	2 390 kWh	4 131 €	171 €	17 years
4	-	-	-	-
5	3 130 kWh	5 414 €	219 €	17 years
6	-	-	-	-

## THE POTENTIAL OF THE ENERGY SOCIETY IN THE NEW ENERGY PRICING STRUCTURE

According to Korpijärvi and Tanskanen, in the case of the energy community a bigger solar production unit can be utilised. This gives an advantage in investment price. In addition, because of the different timing of the loads the households can instead use 72 % or even 82 % of the solar energy production for their own energy utilising. The payback time of the investment decreases from an average of 17 years to 14 years.

## OTHER GREEN ENERGY SOURCES

The other relevant renewable energy source is wind power. Wind power is now the most economical way to produce electricity (Vakkilainen). The other question is the price of energy storage. In ten years the assumption is that the electricity storage price will decrease to a level where wind power can be utilised without regulation power (Kumpulainen).

## THE PROPOSITION FOR FINNISH SOCIETY TO HELP ADVANCE GREEN ENERGY MARKETS IN FINNISH SOCIETY

The electricity pricing structure suggested should develop in the form presented in Table 6. In this case the electricity transmission price is based on the structure of the costs, with, on the other hand, taxes developed in a fixed form instead of an energy depending form.

The other way to advance renewable energy markets is to support solar panel investments. The level of this support would be approximately 10 % of the investment.

The third recommendation would be legalise energy communities.

All three recommendations would advance economic investments in renewable electricity sources in Finland.

## CONCLUSION

The most reasonable renewable electricity resources now and in the future are wind power and solar power. Wind power is the most competitive way to produce market-based electricity (Vakkilainen). The competitiveness of solar power, on the other hand, depends very much on the electricity power structure. In this report the proposition is formed on this structure so that on the one hand, solar power is advanced, and on the other, this advantage is not based on the support of energy transmission companies. Therefore the electricity price structure should be based less on fixed energy prices from the view of electricity transmission, and more on flexible components from the point of view of electrical energy and taxes. It should also be made legal for energy communities to promote solar power.

## REFERENCES

Hokkanen, M. Household hourly consumption in 2018 and 2017.

Korpijärvi, J. & Tanskanen, R. 2019. “The Economy and Possibility of the Energy Community in Finnish Solar Energy Production”, paper presented in International Conference On Digital Technologies in Logistics and Infrastructure, October 25–26, 2019, St. Petersburg.

Korpijärvi, J. Household and summer cottage hourly electricity consumption in 2018 and 2017.

Motiva Ltd. 2019. Selling of excess electricity. Ylijäämä sähköön myynti. Updated 3.6.2019. WWW-document. Available: [https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva\\_energia/aurinkosahko/aurinkosahkojarjestelman\\_kaytto/ylijaamasahkon\\_myynti](https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkosahko/aurinkosahkojarjestelman_kaytto/ylijaamasahkon_myynti) [Referred to 3.6.2019]

Optiwatti. 2019. WWW-document. Available: <https://www.optiwatti.fi/category/omakotitalon-sahkonkulutus/>

Ranta-Korhonen, T. Household hourly consumption in 2018 and 2017.

Soininen, H. Household hourly consumption in 2018 and 2017.

Tanskanen, R. Household hourly consumption in 2018 and 2017.

Vakkilainen, E. & Kivistö, A. 2017. Sähkön tuotantokustannusvertailu, LUT-yliopisto, LES Energiatekniikka, Tutkimusraportti 66 (in Finnish).



# HOW ELECTRIC PASSENGER CARS IN TRAFFIC USE ARE SUBSIDISED IN FINLAND

Jarmo Kaskinen

This article discusses subsidies to electric cars in traffic use in Finland, as well as which fees are available for electric cars in Finland and how taxation on electric cars compares to the rest of the car fleet. The report also deals with subsidies for the construction of the charging infrastructure for electric cars. The report highlights the relevance of electric cars in reducing CO<sub>2</sub>-emissions, and how the electric car fleet should develop in the future in order for Finland to achieve its climate goals.

## INTRODUCTION

The article HOW ELECTRIC PASSENGER CARS IN TRAFFIC USE ARE SUBSIDISED IN FINLAND is part of the Green Energy Regional Markets Development (Green ReMark) project, funded by the South-East Finland–Russia CBC 2014–2020 programme and project partners. The aim of the project is to promote cooperation across the border between the EU Member State Finland and the Russian Federation. The Green ReMark project supports the growth potential of the new and attractive green economy, its commercialisation, and awareness raising. The Green ReMark project partners are Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, the South-Eastern Finland University of Applied Sciences, Miksei Oy and Neva Energy Ltd.

The challenges of climate change are globally recognised and scientifically proven. International efforts have been made to reach agreements to curb greenhouse gas emissions as well as global warming. One part in reducing greenhouse gas emissions is limiting traffic-related CO<sub>2</sub> emissions. Traffic CO<sub>2</sub> emissions can be reduced by low-emission vehicles. In order to respond to the agreed CO<sub>2</sub> emissions targets in Finland, both EU and national legislation can be used to increase the number of low-emission vehicles and at the same time reduce greenhouse gas emissions. Increasing the number of electric cars is part of the Finnish Government's solution to cut CO<sub>2</sub> emissions from traffic.

This article discusses Finland's national subsidies for electric cars and their infrastructure. The impact of transport on greenhouse gas emissions reduction is also highlighted.

## TRAFFIC TRANSFORMATION IN FINLAND TOWARDS LOW EMISSION VEHICLES

In Finland the CO<sub>2</sub> emissions from the three largest sectors account for nearly three-quarters of GHG emissions: industry CO<sub>2</sub> emissions cover 27 %, power and heat 26 % and transport 20 % of national GHG emissions in CO<sub>2</sub>.

SITRA's study (Cost-efficient emission reduction pathway to 2030 for Finland) suggests that transport's share of Finland's CO<sub>2</sub> reduction should be 6.2 MtCO<sub>2</sub> abatement, a 25 % share of the total targeted emissions reduction. The study recommends that diesel and petrol vehicles are rapidly and extensively replaced by battery electric vehicles and plug-in hybrids both in consumer and commercial use, reaching 800,000 electric passenger cars, 200,000 lorries and almost 8,000 buses on Finnish roads by 2030. Electric lorries, buses and passenger cars could realise an abatement of about 4.6 MtCO<sub>2</sub> by 2030, while increasing the biofuel blending rate to 30 % and internal combustion engine (ICE) efficiency improvements could realise another 1.6 MtCO<sub>2</sub>.

To be in line with international CO<sub>2</sub> reduction commitments, Finland will also need traffic transformation to low emission vehicles to cut emissions. The SITRA study (Cost-efficient emission reduction pathway to 2030 for Finland – opportunities in electrification and beyond) shows that electrical transportation could be one of the most cost-effective measures to cut CO<sub>2</sub> emissions in Finland.

## CURRENT SITUATION AND THE NUMBER OF ELECTRIC PASSENGER CARS IN TRAFFIC USE IN FINLAND

The total number of electric cars in Finland has grown slowly since 2010. The number of electric passenger cars in traffic use by the end of the year 2018 was 15,499 pcs. Battery electric vehicles were 2,404 pcs and plug-in hybrid vehicles 13,095 pcs. However the number of electric passenger cars in traffic use has more or less doubled every year since 2010. (Finnish Transport and Communications Agency 2019a).

Considering the number of electric cars, Finland has been left behind by some other Nordic and EU countries. For example, Sweden and Norway have invested more in purchase subsidies for electric cars to increase their electric car fleet than Finland. In Sweden and Norway, subsidies and advanced infrastructure for electric vehicles have encouraged consumers to make the transition from combustion to low emission electric vehicles. Even if the total number of electric cars is modest in Finland, electric cars' relative share of car sales is better when compared to EU countries. In EU countries, the relative share of PHEV (Plug-in Hybrid Electric Vehicle) and BEV (Battery Electric Vehicle) sales was highest in Sweden, Belgium and Finland, with shares of 5,5 %, 2,7 % and 2,6 % of national car sales in 2017. (The European Environment Agency 2018)

## **PURCHASE SUBSIDY FOR ELECTRIC PASSENGER CARS IN TRAFFIC USE**

The purchase subsidy for electric passenger cars was introduced at the beginning of 2018. For the period 2018–2021, people who are either buying a new electric passenger car or signing a long-term lease agreement for an electric passenger car may receive a €2,000 purchase subsidy from the Finnish Government. (Finnish Transport and Communications Agency 2019c).

## **LEASING AN ELECTRIC CAR**

If applying for the subsidy is not possible directly from the car dealership, the service provider may apply for a leased car purchase subsidy through a separate application. The subsidy is paid to the service provider's bank account.

The service provider may apply for the purchase subsidy between 1.1.2018 and 30.11.2021. The service provider must apply for the reimbursement from Traficom no more than six months from the time when the car was delivered to the leaser.

The leaser must authorise the service provider to apply for the purchase subsidy on their behalf. The service provider must keep the letter of authorisation for inspections for a period of two years. The decision on whether to grant the purchase subsidy is made based on the application, and the leaser is informed of the decision. (Finnish Transport and Communications Agency 2019c).

The leasing service provider must report to Traficom if the lease agreement ends before the three-year period is complete. (Finnish Transport and Communications Agency 2019c).

## **TAXATION FOR ELECTRIC PASSENGER CARS IN TRAFFIC USE**

Purchase and operational taxes for electric cars are set mainly in relation to the cars' emissions. Both car- and motor-vehicle tax is lower for low emission cars, favouring electric cars. This is expected to increase the size of the electric car fleet in Finland.

## **MOTOR VEHICLE TAX FOR PASSENGER ELECTRIC CARS IN TRAFFIC USE**

Motor vehicle tax for a passenger car is composed of a base tax and, in some cases, an additional tax on the driving power if the car uses a fuel other than petrol. Cars which weigh under 2500 kg and were brought into use from 1.1.2001 or later have a base tax related to the car's CO<sub>2</sub> emissions. The lower the emissions are, the lower is the base tax. Taxation

is the method by which the government persuades car buyers to have a low emission car. (Finnish Transport and Communications Agency 2019d).

**TABLE 1.** Examples of base tax in the year 2020, WLTP-measuring. (Finnish Transport and Communications Agency 2019d)

CO <sub>2</sub> emissions (g/km)	Base tax euro/ year 2020
0	53,29
50	72,63
100	103,66
150	160,96
200	285,43
250	424,49

Another element of motor vehicle tax is an additional tax for driving power. For electricity, it is 1.5 cent/day/100kg. When using electricity + petrol, the tax is 0.5 cent/day/100kg. When using electricity + diesel, the tax is 4.5 cent/day/100 kg. For diesel cars, the tax is 5.5 cent/day/100kg and for methane cars 3.1 cent/day/100kg.

This additional tax for driving power is not in line with low emission targets because of the zero tax on petrol, but on the other hand, battery electric cars have low additional tax for driving power compared to diesel, for example. (Finnish Transport and Communications Agency 2019d)

**TABLE 2.** Additional tax for driving power. (Finnish Transport and Communications Agency 2019d)

Tax on driving power for passenger cars	
Driving power	cent/day/100kg
diesel	5,5
electric	1,5
electric+petrol	0,5
electric+diesel	4,9
methane	3,1

## CAR TAX FOR ELECTRIC PASSENGER CARS IN TRAFFIC USE

In Finland, the car tax is determined on the basis of the general consumer price of the car. The tax rate is based on the information from the car manufacturer's CO<sub>2</sub> emissions (g/km), which correspond to the car's specific fuel consumption (l /100 km) of the combined urban and road cycles. (Veronmaksajain Keskusliitto 2018).

From the beginning of September 2018, CO<sub>2</sub> emissions for new passenger cars, and partly for vans, were measured using the new Worldwide Light Vehicles Test Procedure (WLTP). The transformation in the measurement method was based on European Union legislation. The new measurement method is more accurate than before and describes the vehicle specific emissions better.

The amount of the tax rate changes according to the amount of emissions, so that it increases as CO<sub>2</sub> emissions increase. Maximum (48.9 %) and minimum (2.7 %) percentages are set for car tax. (Veronmaksajain Keskusliitto 2018)

**TABLE 3.** Examples of car tax formation according to emissions. (Ministry of the Justice 2018)

CO <sub>2</sub> emissions (g/km)	3.-31.12.2018 tax percentage	1.1.2019 tax percentage
0	3,3	2,7
50	4,9	3,9
100	8,1	6,8
150	17,6	16,8
200	29,7	29,7
250	38,6	38,6

## THE ELECTRIC CAR AS A COMPANY CAR, UNLIMITED BENEFIT

In the case of all-electric vehicles that run entirely on electricity, the taxable value of an unlimited company-car benefit is reduced, by subtracting either 8 cents per kilometre, or alternatively, €120 from the monthly value (The Finnish Tax Administration 2019)

## CONCLUSION

To be in line with international climate change commitments, Finland will need traffic transformation to low emission vehicles to cut its greenhouse gas emissions. Electric cars can be a substantial part of CO<sub>2</sub> emission reduction. Studies show that up to 25 % of the total targeted emission reduction can be achieved with low emission traffic. Electrical transportation could also be one of the most cost effective measures to curb GHG emissions in Finland.

The total number of electric cars in Finland is modest, but has more or less doubled every year since 2010. If it is desired to make further progress towards achieving the required number of electric cars, efforts are needed to increase the number in the electric car fleet. The targets set by Ministries to increase the number of electric vehicles in Finland within the desired timeframe require further efforts to support a low-emission vehicle fleet.

Adequate purchase subsidies for low emission vehicles would speed up the purchase of low emission cars and fossil fuel tax increases would benefit those who use electric vehicles. Lower binding CO<sub>2</sub> limit values for new passenger cars must be regulated at the EU level to increase the number of electric cars, and subsidies are needed for the construction of the necessary infrastructure for electric cars.

Reducing greenhouse gas emissions from traffic in Finland by increasing the number of electric vehicles is possible but challenging. In international climate agreements Finland is committed to reducing emissions within a specific timeframe. Within this timeframe, upgrading the Finnish low-emission car fleet is an ambitious, though not impossible task.

For the fleet to be modernised to low-emission vehicles on the desired schedule, subsidies would be needed not only for the purchase of low-emission cars but also for the infrastructure they require.

Both EU and Finnish national strategies and legislation are needed to increase the number of low-emission vehicles and municipal actors are also required to act, specifically in planning and implementing legislation for the use of electric vehicles.

## REFERENCES

The European Environment Agency. 2018. Electric vehicles as a proportion of the total fleet. Updated 11.6.2018. WWW-document. Available: <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/indicators/proportion-of-vehicle-fleet-meeting-4/assessment-2> [referred to 28.8.2019].

The Finnish Innovation Fund SITRA. 2018a. Finland can reduce its emissions cost-effectively. WWW-document. Available: <https://www.sitra.fi/en/news/finland-can-reduce-emissions-cost-effectively/> [referred to 28.8.2019].

The Finnish Innovation Fund SITRA. 2018b. Cost-efficient emission reduction pathway to 2030 for Finland. SITRA Studies 140. WWW-document. Available: <https://media.sitra.fi/2018/11/30103309/cost-efficient-emission-reduction-pathway-to-2030-for-finland1.pdf> [referred to 21.8.2019].

The Finnish Tax Administration. 2019. Decision of the Finnish Tax Administration on the valuation of taxable in-kind benefits to be applied in 2019. WWW-document. Available: <https://www.vero.fi/en/detailed-guidance/decisions/47380/in-kind-benefits-fringe-benefits-2019/> [referred to 21.8.2019].

Finnish Transport and Communications Agency. 2019a. Number of electric passenger cars in traffic use by the end of the year. Updated 2.1.2019. [referred to 21.8.2019].

Finnish Transport and Communications Agency. 2019c. Purchase subsidy for electric cars. WWW-document. Available: <https://www.traficom.fi/en/services/purchase-subsidy-electric-cars> [referred to 21.8.2019].

Finnish Transport and Communications Agency. 2019d. Ajoneuvoveron rakenne ja määrä. WWW-document. Available: <https://www.traficom.fi/fi/liikenne/tieliikenne/ajoneuvoveron-rakenne-ja-maara> [referred to 21.8.2019].

Ministry of the Environment. 2018. Euroopan unionin ilmastopolitiikka. Updated 19.9.2018. WWW-document. Available: <https://ym.fi/euroopan-unionin-ilmastopolitiikka> [referred to 21.8.2019].

Ministry of the Environment. 2019a. National climate change policy. Updated: 19.3.2019. WWW-document. Available: <https://ym.fi/en/finland-s-national-climate-change-policy> [referred to 21.8.2019].

Ministry of the Environment. 2019b. Kohti ilmastoviisasta arkea – keskipitkän aikavälin ilmastopolitiikan suunnitelma vuoteen 2030. Updated 19.3.2019. WWW-document. Available: <https://ym.fi/keskipitkan-aikavalin-ilmastopolitiikan-suunnitelma> [referred to 21.8.2019].

Ministry of Justice. 2018. Verotaulukko 1 A, liite 1365/2018. Updated 3.1.2019. WWW-document. Available: [https://www.vero.fi/globalassets/henkiloasiakkaat/autoverotus/verotaulukko-1a\\_1365\\_2018.pdf](https://www.vero.fi/globalassets/henkiloasiakkaat/autoverotus/verotaulukko-1a_1365_2018.pdf) [referred to 21.8.2019].

Veronmaksajain Keskusliitto. 2018. Autovero. Updated 18.12.2018. WWW-document. Available: <https://www.veronmaksajat.fi/Asunto-ja-auto/Autovero/> [referred to 21.8.2019].



# OVERALL PLAN FOR EV CHARGING INFRASTRUCTURE BETWEEN ST. PETERSBURG AND KOTKA ALONG THE E18 HIGHWAY

Leena Pekurinen

According to the Finnish national programme for the distribution network of alternative power for transport, the goal is to increase the number of electric cars in Finland to 263,000–250,000 passenger cars and 13,000 vans – by 2030. (Liikenne- ja viestintäministeriö 2017) According to Finland's national target, by 2030 there should be 25,000 public recharging points in Finland. The charging infrastructure should cover all municipalities and cities, transport hubs, TEN-T core network ports, railway stations and airports. In the road network, there should also be recharging points on main roads. (Liikenne- ja viestintäministeriö 2017)

This study is part of the Green Energy Regional Markets Development (Green ReMark) project funded by the South-East Finland–Russia CBC 2014–2020 programme and project partners. The project partners are Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, the South-Eastern Finland University of Applied Sciences, Miksei Oy and Neva Energy Ltd. In this study, sites suitable for public charging points for electric cars were identified on the section of the E18 road between Kotka and St. Petersburg. The aim was to provide a comprehensive charging infrastructure and map out business opportunities in connection with the charging places.

## THEORY

The charging infrastructure covers public, semi-public and private charging points. A well-functioning charging infrastructure is a prerequisite for the proliferation of electric vehicles. (Salonen et al. 2015) Among the charging operators on the Finnish side, between Kotka and Vaalimaa, Liikennevirta, Fortum Charge & Drive, Lidl, K-lataus and Tesla operate (Latauskartta.fi). In addition, Motonet Motolataus and Ionity operate elsewhere in Finland. On the Russian side between Vyborg and St. Petersburg, Lenenergo and E-mobility operate mainly (Lenenergo.ru). Tesla is planning to establish one charging station in the Ogonk area. In addition, elsewhere in Russia, Moesk operates mainly in the Moscow region.

The most important regulations concerning charging infrastructure and charging points are EU Directive 2014/92/EU (Distribution Infrastructure Directive) and the Act on the Distribution of Alternative Fuels for Transport 2017/478 (Distribution Infrastructure Act). The Distribution Infrastructure Directive has been implemented by the Distribution Infrastructure Act.

## **CHARGING INFRASTRUCTURE AND BUSINESS OPPORTUNITIES AT CHARGING PLACES**

In Finland, the charging infrastructure has developed rapidly in recent years, but there are still too few fast charging opportunities, especially in Eastern and Northern Finland. Public charging places for electric cars are most often set up on market terms. The charging station should be located in a place where electric motorists can easily stop to charge. When establishing charging points, the standards and recommendations for charging stations and charging points as well as the electrical connections to the charging station must be taken into account. Remote management allows user authentication and billing of the charging. It facilitates the maintenance and servicing of charging stations and speeds up the response to potential problems. (Karppinen 2014)

The proliferation of electric cars has brought a new kind of thinking to motoring. Because charging takes longer than refuelling an internal combustion engine, other services are relevant to the charging experience. To ensure a sufficiently high-quality service, the charging point must be easy to find and it must be possible to pay for the charge according to the energy used. (Teknologiategollisuus 2017, Kupiainen 2013) According to Kupiainen (2013), the most important services in connection with public charging services are dining and shopping services, as well as a safe and comfortable playground for children. As electric cars become more common, the customer base will increase and diversify, which will bring new types of service needs in the future that have not yet arisen. On the other hand, traditional services available from petrol stations such as car washing and cleaning as well as tyre pressure measurement/inflation are desirable services when charging an electric car. Electric car charging stations require maintenance and repair work. This provides business opportunities for companies providing electrical work and increases the need for training services for both the staff of electrical companies and car dealers' own maintenance and repair staff. (Kupiainen 2013)

Pricing and payment practices vary widely. From a customer perspective, pricing should be moderate and, where possible, part of the customer service. From a business perspective, providing a charging option can bring in more customers, but its cost should be able to be covered by debiting for the charging.

## MATERIAL AND METHODS

The charging network was examined on the section of the E18 highway between Kotka and St. Petersburg. For the planning of the charging infrastructure, surveys were conducted with fuel distribution chains and electric motorists operating in Finland. In addition, questions were sent to charging operators operating in Finland. Information on existing charging locations and charging points was collected from the Latauskartha.fi, Lenenergo.ru and Electromobili.ru services. Potential sites suitable for charging places were investigated on-site by driving the route and making observations of the sites. The findings were augmented using Google Maps.

Traffic volumes on the selected road section on the E18 highway vary. The largest traffic volumes, 15,439–32,549 vehicles per day, are located on the section between Kotka and Hamina and in Kotka on Hyväntuulentie. (Väylävirasto 2020) In 2019, a total of 978,945 vehicles crossed the Vaalimaa border. The same numbers travelled from Finland to Russia as from Russia to Finland. (Väylävirasto 2020b)

## RESULTS AND REVIEW OF RESULTS

Petrol stations have little capacity to charge electric cars. There are 31 petrol stations between Kotka and Vaalimaa, only two of which offer a charging option for an electric car. However, a few petrol stations plan to introduce charging points in the next few years. The reason for the low number of charging options for electric cars may be that the charging option is not yet having a significant impact on the number of petrol station customers. Not everyone has enough information on subsidies for setting up charging points for electric cars, which may be part of the reason why petrol stations have not built charging points. On the other hand, public charging points are constantly being built in connection with various public buildings where other services are also available.

Electric cars are often charged at home during the night. Home slow charging is ideal when arriving during the day or overnight. For long journeys, it is important to be able to charge the car quickly, and charging points should be plentiful enough. Charging points should preferably be accessed without queuing and should be successful in less than an hour. Slower charging powers are best for charging hybrids. Public charging places should have charging points for both slower charging and fast charging.

The most popular services at the charging points are restaurant and café services and a grocery store. Other shops, outdoor sports or nature trails and petrol station services, as well as accommodation services, are needed at least every now and then. Service needs vary greatly. All kinds of services and recreational opportunities lasting 0.5 to 2 hours are desirable. Primarily, however, the charging place is selected based on the fast charging option.

The following points were made regarding the charging places:

- The power of the quick charging points should be at least 50–100 kW. That, too, may soon be too little, and even greater powers were presented.
- Quick charging stations must be sufficiently plentiful along the way, for example every 50 to 100 kilometres.
- Charging places should be clearly marked and they should be maintained and reliable.
- Snow-ploughing to charging points in winter should be taken care of so that it is possible to drive there.
- Access to the charging station with a boat trailer or trailer should be ensured.

Electric car charging stations are expected to be reliable, convenient, flexible and reasonably priced. On long trips, families need entertainment for children in addition to food and coffee. Frustrating queuing should be eliminated by increasing the number of charging points. Power-based pricing combined with time-based pricing would work best for many. It pays for the charge on the amount of power charged, but if the car is parked for a longer time at the charging point, the charge becomes time-based.

Two out of five charging operators responded to the questionnaire. Kesko's charging network includes more than 75 charging stations and 400 charging points. Pricing is per minute and the same for all chargers. An unregistered charger will also be charged a start-up fee of one euro. Kesko's K-lataus is actively exploring the possibilities of increasing charging points across Finland and would promote electric motoring by supporting the construction of charging points.

Liikennevirta (Virta) has about 2,000 charging points in Finland and about 15,000 worldwide. In addition, the roaming connection enables the use of 100,000 charging stations for Virta's customers. It has more than 300 charging network owners as customers who invest in charging points around the world. The price base for the charging depends on the owner of the charging network. Virta would promote electric cars in Finland in many different ways. Supporting the purchase of electric cars would bring electric cars to the used car market faster. Subsidies for the construction of the charging network and charging points are necessary in order to make the fast charging network cover the whole of Finland in particular. The price of electricity should be regulated so that charging an electric car would be more economically viable for the user than refuelling an internal combustion engine car. Fiscal means can be used to favour the purchase and long-term rental of all-electric cars. Virta see tax breaks for all-electric company cars as one of the most significant means. Other ways to promote electric cars include everyday facilities such as cheaper parking pricing for electric cars.

Virta has a few two-way charging points to balance the electricity grid, and more are under construction. As part of the service, the owner of an electric car can in the future utilise the

car battery as an energy store at home and contribute to balancing the electricity market. According to Virta, the chargers that enable bidirectional charging can only be found in test use presently.

## ESTABLISHING A CHARGING STATION IN CONNECTION WITH A BUSINESS LOCATION

Public charging points are often set up in connection with existing services and functions. An example in this review was the retail store in Hamina. The store is located in the immediate vicinity of the E18 highway and there is also a lunch restaurant on the store property. The store is open 8 hours a day, every day. The charging station should be equipped with transaction charging points, in which case it will best serve customers who visit the store and possibly use the services of a lunch restaurant. For customers in a hurry, fast charging is also required.

If four 22 kW charging points and two 50 kW charging points are installed at the charging place, the total cost of the investment will be approximately € 46,900–60,800. The price includes charging equipment, excavation work, cabling (up to 10 metres) and electricity for additional capacity booking fees. The price is greatly influenced by, among other things, what kind of services are required to be connected to the charging stations. The power fee and the service and maintenance costs total fixed costs of approximately € 13,400 per year. Variable costs – approximately € 13,000 – arises from the amount of energy used for charging. The costs are shown in Table 1.

**TABLE 1.** Investment costs, fixed costs and variable costs of charging stations (4x22 kW and 2x50 kW charging points)

<b>Investment costs</b>	Purchase	€ 33,500–€ 39,400
	Installation work	€ 7,000 –€ 15,000
	Additional electricity capacity	€ 6,368
<b>Fixed costs</b>	PJ power charge	€ 10,445 per year
	Service and maintenance	€ 3,000 per year
<b>Variable costs</b>	Electricity *)	€ 13,099 per year

\*) includes: electrical energy, electricity transmission, electricity tax

The PJ power charge arises from an additional power of 188 kW (4 x 22 kW + 2 x 50 kW) and is 4.63 € / kW / month (Kymenlaakson Sähkö). The reservation fee for additional electricity capacity is based on the same reservation fee for the additional capacity of 188 kW. The service and maintenance costs are estimated at around € 1,000 per charging station. The following assumptions have been used for variable costs: charging is possible during store opening hours (8 hours / day 360 days a year), the utilisation rate is 30 % and the price of electricity is 10 cents / kWh. The calculations do not take into account possible subsidies for the construction of charging stations.

The calculation assumes an interest rate of 5 % and a useful life of 10 years, after which the

residual value of the investment is € 0. Table 2 shows the annual cost of the investment. The investment costs have been converted into annual fixed costs. The annual fixed costs per year vary between € 19,420 and € 21,200. The variable costs are approximately € 13,100 per year.

**TABLE 2.** Annual costs of charging stations (minimum and maximum)

<b>Fixed costs per year</b>	<b>€ 19,420.95</b>	<b>€ 21,193.20</b>
purchase	€ 4,271.25	€ 5,023.50
installation work	€ 892.50	€ 1,912.50
additional electricity capacity	€ 811.92	€ 811.92
PJ power charge *)	€ 10,445.28	€ 10,445.28
service and maintenance	€ 3,000.00	€ 3,000.00
<b>Variable costs per year **)</b>	<b>€ 13,099.35</b>	<b>€ 13,099.35</b>
<b>Total costs per year</b>	<b>€ 32,520.30</b>	<b>€ 34,292.55</b>

\*) 4.63 € / kW (reserved additional electricity capacity) / month

\*\*) electrical energy, electricity transmission and electricity tax total 0.10 € / kWh, 30 % utilisation rate

The costs are indicative. For example, the cost of the additional capacity and the electricity may be lower than in the calculations, because the need for additional capacity depends on the adequacy of the company's current capacity and the cost of the electricity depends on the utilisation rate of the charging points.

In order for the construction of charging stations to be profitable, the revenues should cover the costs of investment and operating costs. There are various calculation programs for profitability calculation on the Internet. Some of them are free of charge and openly available to users, such as the Investment Profitability Calculator prepared by Mika Mujunen ([www-address: https://mikamujunen.com/investoinninkannattavuuslaskuri/](https://mikamujunen.com/investoinninkannattavuuslaskuri/)) and Cursor Oy's YT14 Investment Profitability Calculator ([www address: https://yritystulkki.fi/fi/alue/cursor/toimiva-yrittaja/tiedostot/](https://yritystulkki.fi/fi/alue/cursor/toimiva-yrittaja/tiedostot/)).

## SUMMARY AND PROPOSALS

Electric cars are becoming more widespread both in Finland and elsewhere in the world. The main obstacles to the spread of electric cars are the high price of all-electric cars, the inadequate charging infrastructure and shortcomings in battery technology. The charging infrastructure is mainly developed in a market-oriented manner. The experiences and opinions of electric motorists must be carefully taken into account when planning the charging infrastructure. The distance between EV charging stations should not be more than 50 kilometres.

The out-of-home charging location is primarily selected based on the fast charging option. The choice is also influenced by the price of the charge and other services and the smoothness of the charge. Electric car charging stations are expected to be reliable, convenient, flexible and reasonably priced. Every motorist has their own needs. On long trips, families need entertainment for children in addition to food and coffee. Frustrating queuing should be eliminated by increasing the number of charging points.

Pricing and payment for a charging transaction will vary depending on the charging operator. The same operator may have different payment bases and use different combinations. Payment should be effortless and clear. Common charging criteria should be set for public charging points and payment should be harmonised so that the customer does not have to download different applications to a mobile device or obtain RFID tags. Comparing the cost of charging is also made easier when comparable information on charging costs is available.

As a result of the review, 12 locations were selected for the E18 highway section between Kotka and St. Petersburg, three of which are located on the Finnish side and nine on the Russian side. The new charging points will ensure that fast charging is possible at intervals of up to 50 kilometres and that electric car charging points will be available at important traffic junctions. The two traffic junction sites are located in an important intersection area. They may not have other services available, but from the point of view of the charging infrastructure, the creation of charging points for them is justified. In terms of location, they are optimal park-and-ride car park spaces.

The acquisition of electric cars and the construction of the charging infrastructure are quite well supported by the EU and the Finnish state, which contributes to the promotion of electric cars. Public subsidies are worthwhile at this stage, as development is advancing at a rapid pace and the technologies are still relatively new. On the other hand, public subsidies may distort competition between different driving forces. A well-to-wheel approach should therefore be introduced to support alternative propulsion, taking into account the life-cycle impacts of motoring.

Electric cars are being acquired at an accelerating rate. Charging options have also increased. While setting up a charging station involves a lot of risk and uncertainty, providing a charging option to customers can bring more customers to the business. At the very least, it can prevent businesses from losing customers to competitors. A functioning charging network also requires a functioning electrical network and smart charging.

## REFERENCES

Electromobili.ru. Map of gas stations in Russia. Gas stations in Moscow and in the regions. WWW-document. Available: <https://electromobili.ru/karta-elektrozapravok-v-rossii-elektrozapravki-v-moskve-i-v-regionakh> [referred to 15.5.2020].

Karppinen, P. 2014. Sähköautojen latauspisteet. Electrical engineering thesis. Engineer (BSc). Lapland University of Applied Sciences. 11.11.2014. PDF-document. Available: [https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/82401/Karppinen\\_Pasi.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/82401/Karppinen_Pasi.pdf?sequence=1&isAllowed=y) [referred to 14.7.2020].

Kupiainen, T. 2013. Palvelutoimintapilotit ja liiketoimintamallit. C, Centria tutkimus ja kehitys – forskning och utveckling, 5. Centria University of Applied Sciences. PDF-document. Available: <https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/71020/978-952-6602-54-7.pdf?sequence=1&isAllowed=y> [referred to 17.7.2020].

Kymenlaakson Sähkö. Sähkön siirtohinnoista 1.1.2018. WWW-document. Available: <https://www.ksoy.fi/sahkon-myynti/asiakaspalvelu/hinnastot/sahkon-siirtohinnoista-1.1.2018> [referred to 28.7.2020].

Latauskartta.fi. Public charging points. Sähköautoilijat ry. WWW-document. Available: <https://latauskartta.fi/> [referred to 5.4.2020].

Lenenergo.ru. Petrol stations in St. Petersburg and the Leningrad region. WWW-document. Available: <https://lenenergo.ru/ev/> [referred to 15.5.2020].

Liikenne- ja viestintäministeriö. 2017. Liikenteen vaihtoehtoisten käyttövoimien jakeluverkko. Suomen kansallinen ohjelma. Jakeluinfra-työryhmän raportin pohjalta koontunut Saara Jääskeläinen. Raportit ja selvitykset 4/2017. PDF-document. Updated 28.3.2017. Available: <https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/79530/Raportit%20ja%20selvitykset%204-2017.pdf?sequence=1&isAllowed=y> [referred to 9.6.2020].

Salonen, N., Poskiparta, L., Kumpula, T. 2015. Sähköautojen julkiset latauspisteet. Selvitys ja suosituksia. Kuntaliitto. 2015. PDF-document. Available: [http://shop.kunnat.net/product\\_details.php?p=3104](http://shop.kunnat.net/product_details.php?p=3104) [referred to 15.5.2020].

Teknologiateollisuus ry. 2017. Latauksesta liiketoimintaa. WWW-document. Updated 17.11.2017. Available: <https://emobility.teknologiateollisuus.fi/fi/latauksesta-liiketoimintaa> [referred to 17.7.2020].

Väylävirasto. 2020. Liikennemääräkartat. WWW-document. Updated 13.5.2020. Available: <https://vayla.fi/kartat/liikennemaarakartat> [referred to 14.5.2020].

Väylävirasto. 2020b. Tieliikenne maarajoilla. XLS. Updated 15.6.2020. WWW-document. Available: <https://vayla.fi/tilastot/tietilastot/rajaliikenne> [referred to 24.6.2020].



# OHJENUORAT TYÖ- TURVALLISUUDEN KEHITTÄMISEEN RAKENNUSALAN PK-YRITYSTEN YLIMMÄLLE JOHDOLLE

Milla Sairanen & Henna-Riikka Haikonen

Rakennusalan työturvallisuus on viime vuosien aikana parantunut Suomessa. Aktiivinen turvallisuustyö on tuottanut tulosta, ja erityisesti kehittynyt asenne ja työturvallisuuskulttuurin muutos ovat parantaneet turvallisuustasoa. Siitä huolimatta rakennusala on yhä kärjessä oleva toimiala työtapaturmien määrässä. (Lantto ym. 2019)

Erityisesti pienissä ja keskisuurissa (pk) yrityksissä turvallisuustyölle on tarvetta. Pk-yrityksissä haasteeksi nousevat resurssit, eikä turvallisuustyölle välttämättä löydy aikaa tai rahaa. Ylimmän johdon asenteen muuttuminen on pitkäaikainen prosessi, johon sitoutuminen vaatii oman panoksensa. (Haatanen ym. 2019)

Safecon – Safety in Construction on rakennusalan pk-yritysten työturvallisuuteen, tuotavuuteen ja työmaaosuhteiden kehittämiseen keskittyvä hanke Pietarin alueen ja Kaakkois-Suomen raja-alueella. Hanketta hallinnoi LAB ammattikorkeakoulu (LAB), ja osatoiteuttajina toimivat Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu (Xamk), Pietarin valtiollinen arkkitehtuurin ja rakennustekniikan yliopisto (GASU) sekä Leningradin valtiollinen yliopisto LSU Pushkin (LSU Pushkin). Hanke kuuluu Kaakkois-Suomi – Venäjä CBC 2014-2020 -ohjelmaan, jota rahoittavat Euroopan unioni, Venäjän federaatio ja Suomen tasavalta.

Xamk on vastuussa hankkeen työpaketista 1, jonka tavoite on lisätä ja tukea ylimmän johdon ymmärrystä työturvallisuudesta ja tarjota työkaluja, joilla ylin johto voi kehittää työturvallisuusasennettaan. Kevään ja kesän 2019 aikana työpaketissa haastateltiin pk-yritysten ylintä johtoa. Haastattelujen pohjalta järjestettiin syksyllä 2019 työpaja, jossa ajatuksia työturvallisuuden kehittämisestä ylimmän johdon näkökulmasta jatkojalostettiin yhteistyöyritysten kanssa. Työpajan, kirjallisuuskatsauksen ja ylimmän johdon haastattelujen tuloksena laadittiin ohjenuorat (guidelines). Ohjenuorissa tarjotaan erilaisia näkökulmia, joilla omaa motivaatiota ja asennetta työturvallisuutta kohtaan voi edistää.

Samassa työpaketissa venäläisen hankepartnerin LSU Pushkinin tutkijat haastattelivat venäläistä johtoa ja julkaisivat omat tuloksensa erillisenä raporttina. LSU Pushkin keskittyy rakennustyömailla työturvallisuustasoon vaikuttaviin organisatorisiin, psykologisiin ja kulttuurisiin tekijöihin.

## RAKENNUSTYÖMAAN TURVALLISUUS LÄHTEE JOHTAJUUDESTA

Haastattelututkimuksen (Haatanen ym. 2019) pohjalta pidetyssä ylimmän johdon työpajassa keskeisiksi teemoiksi muodostuivat viestinnän ja ennakoinnin tehostaminen sekä yleisesti asenteeseen ja motivaation liittyvät tekijät. Myös turvallisuushavaintoihin liittyvät ongelmat, vastaavien mestareiden ja työnjohtajien kokemat haasteet ja turvallisuuden kehittämisen menetelmät nousivat esille. Ylimmän johdon aktiivista esimerkkiä ja toimintaa pidettiin työpajassa tärkeänä lähtökohtana turvallisuustyölle. Koettiin, että vastuu työturvallisuudesta on jokaisella työmaalla toimivalla taholla. Työpajassa tehdyistä havainnoista muodostettiin ohjenuorat.

1. Find your motivation
2. Show example
3. Reserve time
4. Keep yourself informed
5. Keep the interest on safety going
6. Show respect those who do the work
7. Support positive team spirit

Onnistunut työturvallisuuskulttuuri lähtee ylimmän johdon halusta kehittää itseään ja organisaatiota (Laitinen ym. 2013). Koska työturvallisuus on jatkuva ja muuttuva prosessi, vaaditaan johdolta pitkän ajan sitoutumista. Motivaatiotaan turvallisuustyöhön voi kehittää monin tavoin, esimerkiksi pohtimalla juridisia tai taloudellisia näkökulmia.

Omalla toiminnallaan ylin johto näyttää mallia yrityksen keskitason johtajille ja työntekijöille. Esimerkiksi ylimmän johdon aktiivisen osallistumisen yhteisiin koulutuksiin on havaittu parantavan myös yrityksen turvallisuustasoa (Zhang ym. 2019).

Hyvällä ennakkoinnilla ja suunnittelulla ehkäistään kiirettä, parannetaan tuottavuutta ja mahdollistetaan turvallinen työskentely (Lappalainen ym. 2013). Samalla tavalla ylin johto varaa itselleen aikaa turvallisuustyöhön. Muutokset eivät tapahdu hetkessä, ja jotta työturvallisuuden kehittäminen olisi tehokasta, on hyödyllistä keskittyä yhteen muutokseen kerrallaan.

Esimiehen vastuu on välittää ja saada tietoa monesta eri suunnasta (Laitinen ym. 2013). Viestinnän ja vuorovaikutuksen merkitys työturvallisuuden kannalta on tärkeää. Jakamalla tietoa ja kuuntelemalla työntekijöiden mielipiteitä on mahdollista kehittää toimintaa. Työturvallisuuslaki velvoittaa johtoporrasta järjestämään kommunikoinnin ja suunnittelun

työmaalla toimivien osapuolten välille. (Janhonen ym. 2018) Hyvä johtaja puuttuu virheisiin ja tiedottaa avoimesti sattuneista vahingoista (Lappalainen ym. 2013).

Kiinnostusta turvallisuuteen voi ylläpitää turvallisuushavaintojen lisäksi esimerkiksi TR-mittauksiin pohjautuvilla kilpailuilla, seuranta- ja palkitsemisjärjestelmillä sekä työmaavierailuilla (Lappalainen ym. 2003, Laitinen ym. 2010). Vaaratilanteiden käsittely ja niistä oppiminen ovat tärkeä osa työturvallisuustyötä. Turvallisuuskoulutuksilla saadaan työntekijät kiinnittämään enemmän huomiota turvallisuuteen. (Tam ym. 2012)

Ylimmän johdon on tuettava asiantuntijoiden ja työsuojeluvaltuutettujen työtä. Tukea voi osoittaa tarjoamalla koulutuksia erilaisin teemoin ja mahdollistamalla vertaistuen saannin. Vastuun jakaminen työyhteisön sisällä lisää jäsenten tavoitteellisuutta. Yhteistyöllä on havaittu olevan positiivisia vaikutuksia yrityksen turvallisuustasoon. Turvallisuustyö on kaikkien vastuulla.

Työmailla vallitseva työyhteisön ryhmäpaine ja -henki vaikuttavat yksilön turvallisuussenteeseen ja käytökseen (Fang ym. 2015). Positiivinen paine parantaa käytöstä ja asenteita. Negatiivinen ilmapiiri puolestaan altistaa ottamaan riskejä ja synnyttää ristiriitoja ryhmän sisälle (Guo ym. 2015). Ylimmän johdon on ohjattava ryhmähenkeä kohti myönteisyyttä (Laitinen ym. 2013). Positiivinen palaute kannustaa hyvään toimintaan jatkossakin (Lappalainen ym. 2003).

## JOHTOPÄÄTÖKSET

Onnistunut työturvallisuuskulttuuri lähtee yritysjohton aktiivisesta asenteesta. Tämä tuli esille niin työpajassa kuin kirjallisuudessa. Ylin johto tukee työturvallisuutta olemalla esimerkillinen, kehittämällä omaa viestintätaitoaan, järjestämällä ja osallistumalla koulutuksiin, osoittamalla luottamusta työntekijöihinsä ja antamalla suoraa, myönteistä palautetta.

Vastaavia tuloksia nousee esille esimerkiksi Mittaviiva Oy:n toteuttamassa tutkimuksessa, jossa tarkasteltiin rakennustyömaiden turvallisuutta ja perehdytyskäytäntöjä vuosina 2018–2020 (Mäki ym. 2020). Mittaviivan tutkimuksen kirjallisuusanalyysin tuloksena todettiin, että turvallisuustasoa voi tehostaa panostamalla johtamiseen ja esimiestyöhön, kehittämällä suunnittelun ja tuotannon yhteistyötä sekä vahvistamalla työntekijöiden roolia ja vastuuta.

Myös Rakennusliiton keväällä 2020 rakennusalan työsuojeluvaltuutetuille teettämässä kyselyssä ilmeni samoja asioita kuin työpaketin 1 tuloksissa. Ylimmän johdon tukea kaivataan, samoin viestintä- ja vuorovaikutustaitoja sekä vertaistukea. (Rakennusliitto 2020)

Myös LSU Pushkinin tuloksissa (Gaivoronskaia ym. 2019) nousi esille koulutuksen ja tiedon puute, joka vaikuttaa rakennusyritysten turvallisuusjohtamiseen ja -tasoon. Johtajat

tarvitsevat tietoa, kuinka vuorovaikutussuhdetta alaisiin voitaisiin kehittää. Tutkimuksen johtopäätöksissä johtajille suositetaan koulutusta yrityskulttuurin ja organisaation johtamisen tueksi.

Ylimmän johdon työturvallisuusasenteen kehittämässä voidaan soveltaa yleisiä johtajuutta tukevia käytäntöjä. Esimerkiksi lean-johtamismallia hyödyntämällä on mahdollista tehostaa myös turvallisuustyötä (Kortejärvi 2018). Leanin avulla voidaan kehittää tiimityöskentelyä, johdon ja työntekijöiden välistä viestintää sekä lisätä tehokkuutta puuttumalla havaittuihin ongelmiin ajoissa.

## YHTEENVETO

Ylimmän johdon työpajan pohjalta laadittiin ohjenuorat työturvallisuusasenteen kehittämiseen. Työpajassa esiin nousseita teemoja olivat parempi ennakointi, viestintä, asenne sekä toisilta ja kokeneimmilta oppimisen taito. Lopullisia ohjenuoria tuli yhteensä seitsemän: löydä motivaation lähteesi, näytä esimerkkiä, varaa aikaa, pidä itsesi ajan tasalla, ylläpidä kiinnostusta turvallisuuteen ja tue myönteistä ryhmähenkeä.

Venäläisten tutkimuksen pohdinnassa koulutukselta toivotaan psykologisten tekijöiden vaikuttavuudesta kertomista. Työpaketissa laadituissa ohjenuorissa tämä näkyy käytännön esimerkkeinä, kuten kehotuksena panostaa myönteiseen vuorovaikutukseen ja muistutuksena halutun turvallisuuskäyttäytymisen mallintamisesta.

Työpaketissa saadut tulokset ovat linjassa muihin rakennustyömaaturvallisuudesta ja johtamisesta tehtyihin tutkimuksiin. Samankaltaisia ongelmia havaitaan yleisesti johtajuudessa, työntekijöiden rooleissa ja asenteissa sekä suunnittelun ja tuotannon järkevässä yhteensovittamisessa. Hankkeessa järjestetään työpaketin tulosten pohjalta koulutustilaisuuksia sekä tuotetaan oppimissisältöjä tukemaan johtamista.

## LÄHTEET

Fang, D., Wu, C. & Wu, H. 2015. Impact of the Supervisor on Worker Safety Behavior in Construction Projects. *Journal of Management in Engineering* 31. Pdf-dokumentti. Saatavissa: <https://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/%28ASCE%29ME.1943-5479.0000355>.

Gaivoronskaia, I. B., Belov, V. V., Boiko, E. A., Kunitsina, I. A., Sidorova, I. A., Pinchuk, D. V., Makarov, S. P. & Lubimova, E. D. 2019. Organizational, psychological and cultural safety factors in russian construction industry. Pushkin leningrad state university. Tutkimusraportti. PDF. Ei julkaistu.

Guo, B., Yiu, T. & González, V. 2015. Identifying behaviour patterns of construction safety using system archetypes. *Safety Science* 80, 125–141. Pdf-dokumentti. Saatavissa: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0001457515001372>.

Haatanen, N. & Potinkara, T. 2019. Rakennustyömailla tavoitteena nolla tapaturmaa – Safecon-hankkeen ensimmäisen vuoden tuloksia Suomesta. Metsä, ympäristö ja energia. Soveltavaa tutkimusta ja tuotekehitystä. Vuosijulkaisu 2019, 283–289.

Janhonen, M., Lähtenmäki, L. & Alvesalo-Kuusi, A. 2018. Turvallisuuden johtamisen kipupisteet yhteisillä työpaikoilla. *Työelämän tutkimus* 3, 169–184. Pdf-dokumentti. Saatavissa: <https://journal.fi/tyoelamantutkimus/article/view/85231/44212>.

Kortejärvi, P. 2018. Lean Safety Työkirja. Pdf. Helsinki: Työturvallisuuskeskus, teknologia-alojen työalatoimikunta. Saatavissa: [https://ttk.fi/koulutus\\_ja\\_kehittaminen/julkaisut/ladattavat\\_julkaisut/lean\\_safety\\_tyokirja](https://ttk.fi/koulutus_ja_kehittaminen/julkaisut/ladattavat_julkaisut/lean_safety_tyokirja).

Laitinen, H., Vuorinen, M., & Simola, A. 2013. Työturvallisuuden ja terveyden johtaminen. Helsinki: Tietosanoma Oy.

Lantto, E. & Räsänen, T. 2019. Rakennusalan työturvallisuuden kehitys. Nolla tapaturmaa rakennusteollisuudessa 2020 -hanke. Työterveyslaitos. Pdf-dokumentti. Saatavissa: [https://www.rakennusteollisuus.fi/globalassets/tyoturvallisuus/2020\\_sekalainen/raportti\\_final.pdf](https://www.rakennusteollisuus.fi/globalassets/tyoturvallisuus/2020_sekalainen/raportti_final.pdf).

Lappalainen, J., Sauni, S. & Piispanen, P. 2003. Rakennustyön turvallisuusjohtamisen hyviä käytäntöjä. Mitkä ovat tehokkaita keinoja vähentää työtaturmia? Helsinki: Rakennusteollisuuden Kustannus RTK Oy.

Rakennusliitto. 2020. Työsuojeluvaltuutetut kannustavat luomaan turvallista työilmapiiriä. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://rakennusliitto.fi/2020/07/16/tyosuojeluvaltuutetut-kannustavat-luomaan-turvallista-tyoilmapiiria/> [Viitattu 10.8.2020.]

Tam, V. & Fung, W. 2012. Behavior, Attitude, and Perception toward Safety Culture from Mandatory Safety Training Course. *Journal of Professional Issues in Engineering Education and Practice* 138, 207–213. doi:10.1061/(asce)ei.1943-5541.0000104.

Zhang, P., Li, N., Jiang, Z., Fang, D. & Anumbad C. 2019. An agent-based modeling approach for understanding the effect of worker-management interactions on construction workers' safety-related behaviors. *Automation in Construction* 97, 29–43. *Safety Science* s. 3841. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0926580518303637>.

# PUHDAS PUUPINTA

Olli Paajanen & Anti Rohumaa & Anni Harju & Juha Takkunen  
& Julia Seppä & Pertti Pasanen & Tiina Vainio-Kaila & Martti Venäläinen

Ympäristöministeriö on ottanut tavoitteeksi ohjata lainsäädännöllä 2020-luvun puoliväliin mennessä rakennuksen elinkaaren aikaista hiilijalanjälkeä ja laatinut tiekartan tavoitteiden saavuttamiseksi. Tiekartasta selviää, että tällä hetkellä hiilijalanjäljestä suurin osa syntyy rakennuksen käytön aikaisesta energian käytöstä, mutta tutkimusaineisto kuitenkin osoittaa, että rakennusmateriaalien osuus elinkaaren päästöistä on merkittävä ja sen suhteellinen merkitys tulee kasvamaan rakennusten energiatehokkuuden parantuessa. Yhtenä ratkaisuna nähdään puumateriaalin käytön edistäminen, koska puun sitoma hiili säilyy rakenteissa ja kalusteissa pitkään ja näin olleen vaikuttaa koko rakennusalan ympäristövaikutuksiin.

Lisääntynyt puumateriaalin käyttö niin rakentamisessa kuin myös kalusteissa on lisännyt kiinnostusta sen terveysvaikutuksista. Tähän julkaisuun on koottu tiivistetty katsaus laajan ja monipuolisen Puhdas Puu -projektin sisällöstä. Hanke rahoitettiin ympäristöministeriön puurakentamisen ohjelman Kasvua ja kehitystä puusta -tukiohjelmasta ja siinä tutkittiin pinnoittamattoman ja pinnoitetun männyn, kuusen ja koivun hygieenisiä ominaisuuksia, antibakteerisuutta ja puhdistettavuutta. Puu on huokoinen materiaali, minkä takia sitä pidetään helposti likaantuvana ja vaikeasti puhdistettavana. Pinnoitteilla puupinta voidaan suojata ja parantaa sen puhdistettavuutta, mutta luotettavaa tutkimustietoa pinnoitteiden vaikutuksesta puun omiin antibakteerisiin ominaisuuksiin on melko vähän.

Hanke oli sisällöltään hyvin poikkitieteellinen, ja se toteutettiin viiden tutkimuslaitoksen yhteistyönä. Siihen osallistuivat Xamk, Luonnonvarakeskus, Itä-Suomen yliopisto, Ramboll Oy sekä VTT. Hanketoimijat tekivät tiivistä yhteistyötä teollisuuden kanssa, ja hankkeeseen osallistuivat materiaaleilla sekä osaamisella myös Tikkurila Oy ja Siparila Oy.

Tämän lisäksi hankkeessa tehtiin tiivistä yhteistyötä Xamkin kampusten välillä. Se valmisteltiin Xamkin Savonlinnan yksikön johdolla ja käytännön toteutuksessa suuri osa työstä tehtiin Mikkelin Puupolilla Mikpoliksen työntekijöiden toimesta. Hankkeen toteutuksen kannalta oli tärkeää ylläpitää tiivistä keskusteluyhteyttä osallistujien välillä.

Seuraavassa käydään läpi tiivistetysti tutkimuksen tausta, käytännön toteutus ja tutkimusmenetelmät sekä tuloksista muodostetut tärkeimmät johtopäätökset.

## PUUN ANTIBAKTEERISUUS

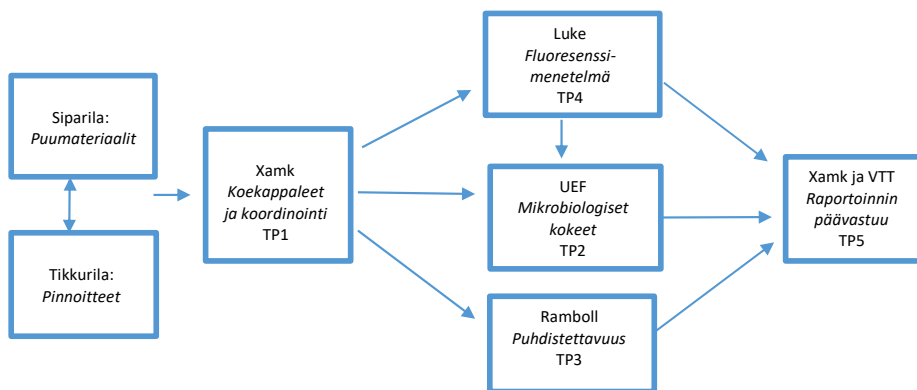
Pinnan antibakteerisuus tarkoittaa, että bakteerit kuolevat nopeammin kyseisellä pinnalla, mikä on tärkeää, koska tiedetään, että taudit leviävät ihmisten koskettamien pintojen välityksellä (Dancer 2008). Puumateriaalien ja sen komponenttien antibakteerisista ominaisuuksista on kansanperinteen lisäksi olemassa myös tutkimustietoa. Suomessa käytettävien puulajien antibakteerisista ominaisuuksista on männyn ja kuusen osalta tehty muutamia tutkimuksia (mm. Milling et al. 2005, Vainio-Kaila et al. 2013). Kolmannesta laajasti käytetystä kotimaisesta puulajista, koivusta, sen sijaan on vain hyvin vähän tutkittua tietoa (Ak et al. 1994). Koivu on hyvin yleinen puulaji muun muassa kalusteissa, joten hankkeessa haluttiin tutkia kaikkia kolmea tärkeintä kotimaista talouspuulajia.

## PUUN PUHDISTETTAVUUS

Puupintojen puhdistettavuus on tärkeää vaativissa käyttökohteissa. Kiinnostavaa on sekä pinnoitettujen että pinnoittamattomien puupintojen käyttäytyminen. Pinnoittamisen on todettu parantavan esimerkiksi betonipinnan puhdistettavuutta (Kymäläinen et al. 2008). Puupinnan puhdistettavuudesta on sen sijaan hyvin vähän tutkittua tietoa, mikä on yllättävää, koska siivousta ja pintojen puhdistamista tehdään jatkuvasti kaikkialla. Pintojen puhdistettavuutta kuitenkin on tutkittu muilla materiaaleilla, ja yleisesti pintojen puhtauden määrittämiseksi on olemassa erilaisia menetelmiä, joita käytetään laajasti muun muassa arvioitaessa siivouksen tehokkuutta.

## TUTKIMUKSEN TOTEUTUS

Tutkimus toteutettiin usean työpaketin muodostamana jatkumona. Hankkeen eteneminen on esitetty kuvassa 1.



**KUVA 1.** Hankkeen työpaketit ja niiden keskinäiset suhteet



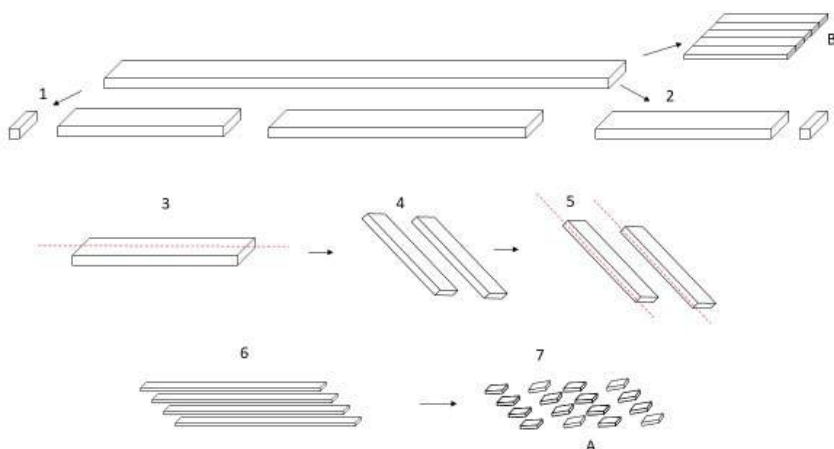
## TUTKIMUSMATERIAALIT JA NÄYTTEIDEN VALMISTUS

Materiaalin historialla ja käsittelyllä voi olla suuri vaikutus sen ominaisuuksiin muun muassa kemiallisten muutosten kautta. Puututkimuksessa on tehtävä kuitenkin valintoja ja kompromisseja. Tässä tutkimuksessa rajattiin materiaalivalinta nykyhetkellä teollisuudessa laajasti käytettyihin puumateriaaleihin (sisustuspaneelisiin) ja niiden teolliseen valmistukseen. Tutkimuksessa käytetyt puumateriaalit saatiin Siparila Oy:ltä.



**KUVA 2.** Koemateriaaleina käytettyjä mäntylankkuja (kuva Anti Rohumaa).

Puumateriaalit työstettiin koekappaleiksi Mikkelin Puupolilla (kuva 2). Kappaleita valmistettaessa noudatettiin suurta tarkkuutta ja hygieniaa tulosten luotettavuuden varmistamiseksi. Kappaleista tiedetään tarkasti, mistä laudasta ja mistä kohtaa ne on sahattu. Kappaleita valmistettiin useassa erässä.



**KUVA 3.** Koekappaleiden valmistus (1–7 koekappaleiden valmistusvaiheet, A-ryhmän muodostavat fluoresenssi- ja antibakteerisuustestikappaleet, B-ryhmän muodostavat puhdistettavuustestiin menevät koekappaleet) (kuva Olli Paaajanen).

Kuvassa 3 on männyn sydänpuukappaleiden valmistusprosessi. Samoista materiaaleista valmistettiin koekappaleet kaikkiin testeihin eli sekä antibakteerisuustestikappaleet (A) että fluoresenssimittauksiin menevät kappaleet (A) että puhdistettavuustestikappaleet (B). Aluksi 50 x 200 mm:n lankuista sahattiin poikkileikkausnäytteet (1) sydänpuuosuuden alustavaa arviointia varten. Tämän jälkeen lankusta sahattiin noin 70 cm pitkät aihiot, jotka edelleen halkaistiin sekä lappeen (3–4) että syrjän (5) suunnassa ennen lopullista höyläystä (6). Näytepalojen sahaus (7) tehtiin viimeisenä, ja lopullinen kappaleen koko oli 50 x 50 x 5 mm. Eri puulajeilla materiaalien lähtödimensiot vaihtelivat, mutta lopullinen koekappaleen koko oli kaikissa ryhmissä sama. Puhdistettavuustesteissä puolestaan käytettiin samoista lankuista tehtyjä liimalevyjä (B), joiden koko oli noin 420 x 450 mm. Levyt liimattiin lankuista höylätyistä keskimäärin noin 15 mm paksuista kappaleista.

Osa koekappaleista pintakäsiteltiin Tikkurila Oy:n tuotekehityslaboratoriossa kolmella eri pinnoitteella:

- Vahapinnoite Akviwax Satin, levitysmäärä 65–70 g/m<sup>2</sup>
- Lakka Akvilac FD-J 10, kiilto 10, levitysmäärä 2 x 100 g/m<sup>2</sup>, välihionta kerrosten välissä
- Akvidur Primer levitysmäärä 100 g/m<sup>2</sup>, välihionta + Argentum 20, levitysmäärä 100 g/m<sup>2</sup>

## TUTKIMUSMENETELMÄT

Hankkeessa hyödynnettiin kolmea hyvin erilaista tutkimusmenetelmää, joista saatuja tuloksia vertailtiin keskenään.

## FLUORESENSSIMITTAUS

Puun sisältämät uuteaineet ovat antibakteerisia (Vainio-Kaila et al. 2015). Erilaisia uuteaineita on puussa paljon. Antibakteerisiksi niistä on todettu ainakin hartsihapot (Himejima et al. 1992, Söderberg et al. 1990) ja stilbeenit (Plumed-Ferrer et al. 2013, Välimaa et al. 2007). Koska stilbeenien ja hartsihappojen määrän on todettu korreloivan keskenään (Leinonen et al. 2008, Venäläinen et al. 2003), stilbeenien määrää mittaamalla voidaan saada tietoa uuteaineiden määrästä yleisemminkin. Luonnonvarakeskus on kehittänyt tutkimusmenetelmän, jolla voidaan suhteellisen yksinkertaisesti mitata stilbeenejä optisesti fluoresenssi-ilmion avulla. Aiempien tutkimusten (Pulkka et al. 2016) perusteella tiedetään, että mitä enemmän puunäytteessä on stilbeenejä, sitä suurempi on fluoresenssin intensiteetti. Sydänpuunäytteitä mitattiin Luken Savonlinnan laboratorioissa tähän tarkoitukseen rakennetulla mittauslaitteella. Puunäytteeseen kohdistettiin UVB-säteilyä, jonka herättämä fluoresenssi mitattiin. Puunäytteet lajiteltiin fluoresenssin intensiteetin perusteella antibakteerisuusmittauksia varten – tavoite oli tutkia fluoresenssin intensiteetin yhteyttä bakteerien kasvuun puunäytteiden pinnalla.

## PUHDISTETTAVUUS

Puhdistettavuustestit toteutti Ramboll Oy. Puhdistettavuuden tutkimusta varten on olemassa yleisesti muun muassa sairaaloissa ja teollisuudessa käytettyjä standardoituja menetelmiä. Tässä tutkimuksessa puhdistettavuutta tutkittiin tekemällä sarja mittauksia, joissa ensin liattiin ja sitten puhdistettiin puupintoja mittausten välissä. Osa tutkituista puulevyistä oli käsittelemättömiä, osa pintakäsiteltyjä, ja lisäksi referenssinä käytettiin lasilevyä.

Menetelminä olivat orgaanisen lian määrittäminen luminometrillä sekä pintojen kasvukykyisten mikrobien määrän mittaaminen Hygicult TPC -testialustoilla. Orgaaninen lika toimii kasvualustana mikrobeille, joten menetelmät täydentävät toisiaan. Luminometrinen menetelmä perustuu solujen energia-aineenvaihdunnan perusyhdisteenä toimivan adenotri-fosfaatin (ATP) kykyyn tuottaa valoa. Mittaus tehtiin Hygiena SystemSURE Plus -laitteella. Näytteenottoon käytettiin UltraSnap-testipuikkoa. Luminometrisistä mittauksista saadaan tuloksena RLU-luku (Relative Light Unit). Mittauskierroksia tehtiin kuusi kappaletta kahden kuukauden ajanjaksolla.

## ANTIBAKTEERISUUS

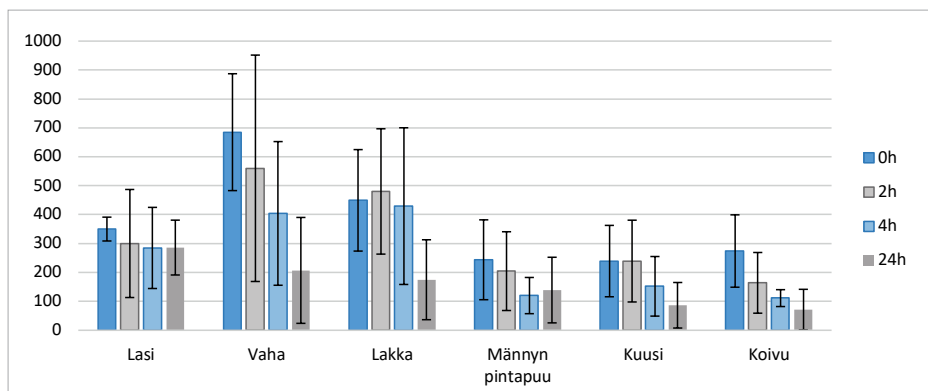
Antibakteerisuutta tutkittiin Itä-Suomen yliopiston ympäristö- ja biotieteiden laboratoriossa Kuopiossa. Antibakteerisuuskokeissa tutkittiin männyn pinta- ja sydänpuun, kuusen ja koivun sekä kolmella eri pintakäsittelyaineella pinnoitetun männyn pintapuun antibakteerisia ominaisuuksia. Referenssipintana käytettiin tässäkin lasilevyä.

Kahden bakteerin, *S. epidermidis* ja *Bacillus aerius/licheniformis*, elinkykyisyys määritettiin Petrifilm-menetelmällä ja pintaviljelymenetelmällä. Tässä artikkelissa esitellään Petrifilm-menetelmän tulokset.

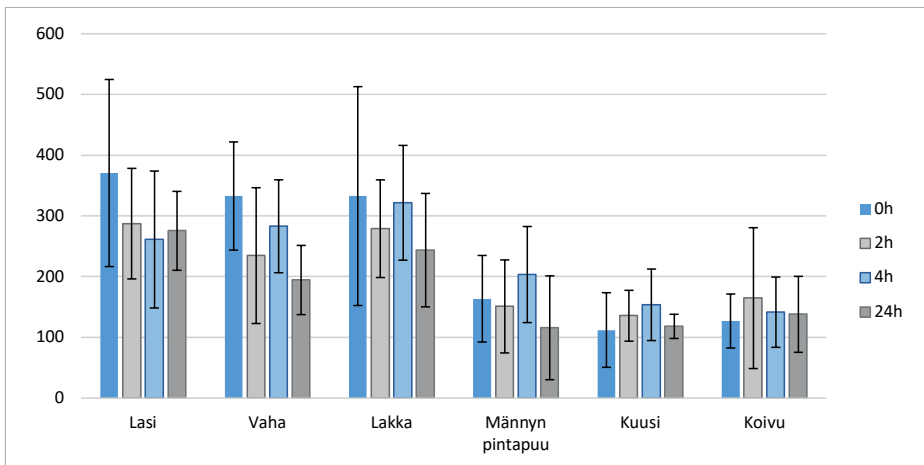
Koekappaleet olivat 50 x 50 x 5 mm:n mittaan sahattuja puukappaleita. Kokeissa puukappaleet aseteltiin lappeelleen tiiviiseen teräksiseen koekammioon, jonne johdettiin bakteerisuspensiosta Collison nebulizerilla (BGI Inc.) tuotettu aerosoli. Bakteerit laskeutuivat satunnaiseen järjestykseen laitettujen rinnakkaisten koekappaleiden pinnoille ilmakontaminaationa. Aerosolia generoitiin kokeessa tunnin ajan ja se johdettiin toistuvasti samalla tilavuusvirralla. Määräajan jälkeen ilmapirta pysäytettiin ja bakteeriaerosolin annettiin laskeutua. Kontaminoinnin jälkeen bakteerien elinkykyisyys määritettiin neljässä aikapisteessä (0 h, 2 h, 4 h ja 24 h). Määrittämiset eri aikapisteissä tuottivat tietoa siitä, vaikuttaako pinnan kontaktaika bakteerien elinkykyisyyteen. Bakteeripitoisuuksia tutkittiin rinnakkaisina kahdella eri menetelmällä ja kokeet toistettiin kullekin pinnalle kolmena rinnakkaisena.

## TÄRKEIMMÄT TULOKSET JA JOHTOPÄÄTÖKSET

Tärkeimmät havainnot laajasta hankkeesta voidaan määrittellä seuraavasti: Pinnoittamattomilta puupinnoilta löytyi vähemmän elinkykyisiä bakteereita kuin pinnoitetuilta puupinnoilta tai verrokkipintana käytetyltä lasipinnalta. Tämä havainto tehtiin sekä puhdistettavuuskokeissa että antibakteerisuuskokeissa kaikilla puulajeilla. Kuvissa 4 ja 5 esitetään antibakteerisuuskokeiden tuloksia kahdella eri bakteerilla Petrifilm-menetelmällä.



**KUVA 4.** *S. epidermidis* -bakteerin pesäkemäärien keskiarvot ja keskihajonnat aikapisteissä lasin, pinnoitetun männyn pintapuun sekä männyn, kuusen ja koivun pinnalla Petrifilm-menetelmällä.



**KUVA 5.** *Bacillus aerius/licheniformis* -bakteerin pesäkemäärien keskiarvot aikapisteissä lasin, vahan, lakan, maalin männyn, kuusen ja koivun pinnalla Petrifilm-menetelmällä. Maalipintojen kahden tunnin tulokset puuttuvat generointijärjestelyn tilan puutteen johdosta.

Koivun antibakteerisista ominaisuuksista on vähän tutkittua tietoa, joten on kiinnostavaa, että näissä kokeissa tulokset ovat samantyyppisiä kuin havupuilla. Eri pinnoitteiden välillä ei kuitenkaan havaittu selkeitä eroja. Toisaalta puhdistettavuuden näkökulmasta on tärkeää todeta, että pinnoitetut pinnat olivat helpompia puhdistaa ja niistä saatiin kaikki testilian jäljet poistettua. Lisäksi pinnoittamattomilta puupinnoilta löytyi enemmän orgaanista likaa kokeen eri vaiheissa siitäkin huolimatta, että bakteeripitoisuudet olivat matalammat kuin pinnoitetuilla pinnoilla. Lisäksi pinnoitetut koelevyt kestivät toistuvaa voimakasta puhdistusta paremmin kuin pinnoittamattomat.

Männyn sydänpuunäytteiden mittaamisessa käytetty fluoresenssimenetelmä osoittautui toimivaksi myös tämän tyyppisillä koekappaleilla. Aineisto pystyttiin lajittelemaan fluoresenssitason mukaisiin ryhmiin. Bakteeriviljelyissä ei kuitenkaan saatu kahden fluoresenssiryhmän (korkea/matala) välille eroja tässä koejärjestelyssä. Toisaalta puhdistettavuusmitauksissa todettiin, että erityisesti männyn sydänpuun osalta mikrobien määrä koelevyissä oli tutkimusjaksoilla erittäin vähäinen.

PuPu-hanke edustaa perustutkimusta, jonka tulokset tuovat uutta tieteellistä tietoa. Niiden hyödynnettävyys jää pääosin tiedon käyttäjän varaan, ja tulosten perusteella voidaan esimerkiksi kehittää uusia ratkaisuja hygieenisyyttä vaativiin pintoihin. Toisaalta saavutetulla tiedolla on markkinointiarvoa puualan yrityksille. Hankkeessa saatiin paljon uutta yksityiskohtaista tietoa puun ominaisuuksista eri menetelmillä. Tulosten tulkitseminen ja soveltaminen käytäntöön ei ole kuitenkaan yksinkertaista.

Tutkimus ja sen tulokset on kuvattu laajemmin hankkeen loppuraportissa, joka löytyy Puutuoteteollisuus ry:n hankeportaalista, [www.hankeportaali.fi](http://www.hankeportaali.fi).

Antibakteerisuustutkimuksesta tarkempaa tietoa löytyy Julia Sepän pro gradu -työstä, joka on ladattavissa Itä-Suomen yliopiston tietokannasta osoitteesta [https://epublications.uef.fi/pub/urn\\_nbn\\_fi\\_uef-20201214/urn\\_nbn\\_fi\\_uef-20201214.pdf](https://epublications.uef.fi/pub/urn_nbn_fi_uef-20201214/urn_nbn_fi_uef-20201214.pdf).

## LÄHTEET

Ak, N. O., Cliver, D. O., & Kaspar, C. W. (1994). Decontamination of plastic and wooden cutting boards for kitchen use. *Journal of Food Protection*. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://doi.org/10.4315/0362-028X-57.1.23>

Dancer, S. J. (2008). Importance of the environment in meticillin-resistant *Staphylococcus aureus* acquisition: the case for hospital cleaning. In *The Lancet Infectious Diseases*. WWW-dokumentti. Saatavissa: [https://doi.org/10.1016/S1473-3099\(07\)70241-4](https://doi.org/10.1016/S1473-3099(07)70241-4)

Himejima, M., Hobson, K. R., Otsuka, T., Wood, D. L., & Kubo, I. (1992). Antimicrobial terpenes from oleoresin of ponderosa pine tree *Pinus ponderosa*: A defense mechanism against microbial invasion. *Journal of Chemical Ecology*. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://doi.org/10.1007/BF02751105>

Kymäläinen, H. R., Määttä, J., Puumala, M., Kaustell, K. O., Mattila, T., Joutsen, B. L., Kuisma, R., Hurme, K. R., Uusi-Rauva, A., & Sjöberg, A. M. (2008). A laboratory study of the effect of coating on cleanability of concrete flooring for use in piggeries. *Biosystems Engineering*, 99(1), 88–98. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2007.09.002>

Leinonen, A., Harju, A.M., Venäläinen, M., Saranpää, P., & Laakso, T. (2008). FT-NIR spectroscopy in predicting the decay resistance related characteristics of solid Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) heartwood. *Holzforschung*. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://doi.org/10.1515/HF.2008.033>

Milling, A., Kehr, R., Wulf, A., & Smalla, K. (2005). The use of wood in practice - A hygienic risk? *Holz Als Roh - Und Werkstoff*. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://doi.org/10.1007/s00107-005-0064-x>

Milling, Annett, Kehr, R., Wulf, A., & Smalla, K. (2005). Survival of bacteria on wood and plastic particles: Dependence on wood species and environmental conditions. *Holz-forschung*. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://doi.org/10.1515/HF.2005.012>

Plumed-Ferrer, C., Väkeväinen, K., Komulainen, H., Rautiainen, M., Smeds, A., Raitanen, J. E., Eklund, P., Willför, S., Alakomi, H. L., Saarela, M., & Von Wright, A. (2013). The antimicrobial effects of wood-associated polyphenols on food pathogens and spoilage organisms. *International Journal of Food Microbiology*. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2013.04.001>

Pulkka, S., Antikainen, J., Venäläinen, M., & Harju, A. (2016). Development of fast stilbene concentration measurement method based on UV-fluorescence. Proceedings of the 12th meeting of the Northern European Network for Wood Science and Engineering (WSE).

Söderberg, T. A., Gref, R., Holm, S., Elmros, T., & Hallmans, G. (1990). Antibacterial activity of rosin and resin acids in vitro. *Scandinavian Journal of Plastic and Reconstructive Surgery and Hand Surgery*. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://doi.org/10.3109/02844319009041279>

Vainio-Kaila, T., Kyyhkynen, A., Rautkari, L., & Siitonen, A. (2015). Antibacterial effects of extracts of *pinus sylvestris* and *picea abies* against *staphylococcus aureus*, *enterococcus faecalis*, *escherichia coli*, and *streptococcus pneumoniae*. *BioResources*, 10(4). WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://doi.org/10.15376/biores.10.4.7763-7771>

Vainio-Kaila, T., Rautkari, L., Nordström, K., Närhi, M., Natri, O., & Kairi, M. (2013). Effect of extractives and thermal modification on antibacterial properties of Scots pine and Norway spruce. *International Wood Products Journal*. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://doi.org/10.1179/2042645313Y.0000000038>

Venäläinen, M., Harju, A., Kainulainen, P., Viitanen, H., & Nikulainen, H. (2003). Variation in the decay resistance and its relationship with other wood characteristics in old Scots pines. *Annals of Forest Science*, 60, 409–417. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://doi.org/10.1051/forest:2003033>



# PUUHUOLTOYRITYSTEN TYÖ- MENETELMIEN TEHOSTAMINEN LEAN-FILOSOFIAN AVULLA

Anna Dunderfelt & Heikki Manninen & Petri Leirivirta

Etelä-Savon ELY-keskuksen Euroopan sosiaalirahastosta rahoittamassa ”Metsäalan osaajat 2020 – Me2020” -hankkeessa (Me2020) etsitään keinoja puunkorjuu-, metsäkuljetus- ja puunkuljetusyritysten tuottavuuden parantamiseksi ja edistetään yrittäjien ja heidän työntekijöidensä työhyvinvointia. Toimenpiteissä keskitytään mukana olevien yritysten johtamiseen ja työn organisointiin muun muassa lean-johtamisfilosofian menetelmiä hyödyntämällä. Tässä keskeistä on niin yrittäjien kuin työntekijöiden osallistaminen, millä on merkittävä yhteys korkeampaan työmotivaatioon ja edelleen jatkuvassa parantamisessa onnistumiseen (Pekuri & Herrala 2013).

Työhyvinvoinnin ja johtamisen vahvistamisella on luonnollisesti positiivinen vaikutus työssä jaksamiseen ja sitä kautta tuottavuuteen ja tuloksellisuuteen. Tämän lisäksi hankkeessa opastetaan yrittäjiä digitaalisten järjestelmien hyödyntämiseen, kannustetaan kiinnittämään huomiota työn laatuun, organisointiin sekä ympäristövaikutuksien vähentämiseen. Työssä on tärkeää huomioida vesistöt ja luontokohteet ja valvoa itse omaa korjuujälkeä.

Hankkeessa on mukana 16 puunkorjuu- ja metsäkuljetusyritystä ja kaksi puunkuljetusyritystä. Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu toteuttaa hanketta yhdessä Etelä-Savon Koulutus Oy:n ja Itä-Savon koulutuskuntayhtymän kanssa.

## LEAN PUUHUOLTOALALLA

Lean-johtamisfilosofian avulla on saavutettu merkittäviä parannuksia niin tuottavuudessa kuin työhyvinvoinnissa monella teollisuuden alalla. Lean-menetelmiä on otettu käyttöön varsin menestyksekkäästi myös palvelualoilla, joilla toimintaa on saatu virtaviivaistettua ja asiakkaan kokemaa palvelun laatua nostettua (Torkkola 2015). Sen sijaan puuhuoltoalalla, joka on luonteeltaan yhdistelmä sekä teollista tuotantoa että palvelutuotantoa, lean-filosofian menetelmät ovat toistaiseksi vieraampia. Tämä ei tietenkään tarkoita, että esimerkiksi turhan työn karsiminen tai toiminnan standardisointi olisi puuhuoltoyrityksille täysin uusia asioita. Kuitenkin lean-menetelmiä johdonmukaisesti hyödyntämällä ja puuhuoltoalalle soveltamalla on mahdollista pureutua tarkemmin yritys kohtaisten toimintamallien kehittämiseen.

Hankkeessa tehdyn alkukartoituskyselyn perusteella havaittiin kehittämisen tarpeita esimerkiksi yritysten johtamisessa ja esimiestyössä, mikä on ymmärrettävää yritysten tausta huomioiden. Monet hankkeessa mukana olevat yritykset ovat kasvaneet pienestä yhden koneen tai puutavara-auton yrityksestä usean henkilön ja laajan konekannan omaaviksi toimijoiksi, ja osalla on edelleen kasvupaineita. Volyymin ja kustannusten noustessa sekä kilpailun kiristyessä kate saattaa laskea ja toiminnan riskit kasvavat. Koulutus ja osaaminen yrityksissä painottuu kuitenkin liiketoimintajohtamisen sijaan suorittavaan työhön. Alalle on vaikea saada osaavaa työvoimaa, sillä alalla korostuvat myös fyysisen jaksamisen sekä henkisten voimavarojen merkitys. Myös nopeasti uudistuva teknologia voi luoda haasteita niin vanhemmalle kuin uudemmalle yrittäjäsukupolvelle. Perinteinen puuhuoltoyritys on usein isältä pojalle -tyyppinen, ja asioita tykätään tehdä niin kuin ”ennen vanhaan”. Hankkeessa etsitään yhdessä alan ulkopuolisten lean-johtamisen asiantuntijoiden avulla keinoja yritysten prosessien kehittämiseen, turhan työn eli hukkan poistamiseen ja työhyvinvoinnin parantamiseen. Hanke tarjoaa erinomaisen mahdollisuuden yrityksille tarkastella omia käytänteitä kriittisesti ja paneutua keinoihin niiden sujuvoittamiseksi, mikä jää helposti kiireessä ja paineiden alla muutoin taka-alalle.

## **TYÖPROSESSIT KUNTOON ASIAKASRAJAPINNASSA**

Hankkeen toimenpiteessä ”Puuhuoltoyritysten osaamistarpeet ja osaamisen kehittäminen” tarkastellaan videoinnin ja korjuukoneiden tuottaman datan avulla yritysten puunkorjuun ja kuormauksen prosesseja työmailla. Toiminnalla kuvataan työntekijän henkilökohtaiset työprosessit näkyviksi ja pyritään tunnistamaan työnteossa vaiheet, jolloin tapahtuu hidastumista tai esimerkiksi turhaa hakkuupään liikkumista. Tuottavuutta pyritään kehittämään ja parantamaan vaikuttamalla työtekniikkaan.

Syksyn 2020 aikana hankkeen toimijat vierailevat hankkeessa mukana olevien yritysten hakkuutyömailla ja puutavara-autojen kuormauspaikoilla kuvaten työprosessien eri vaiheita. Korjuukoneiden tuottaman datan ja työprosessien tarkastelun (videointien) tuottaman aineiston avulla pyritään tunnistamaan ja suunnittelemaan yksilöityjä toimenpiteitä työntekijän tuottavuuden sekä myös työhyvinvoinnin parantamiseksi. Videotallenteet ja koneiden tuottama data jäävät yrittäjien ja työntekijöiden välisiksi. Materiaalia ei jaeta ulkopuolisille.



**KUVA 1.** Metsäalan osaajat 2020 -hankkeessa vierailtaan osallistuvien yritysten työmailla. Kuvassa vasemmalta oikealle Johannes Paunonen, Asko Tolvanen, Ari Lehtonen ja Mikko Pulkkinen (kuva Petri Leirivirta).

## ARVOA ASIAKKAALLE HUKKAA MINIMOIDEN

Lean-johdamisfilosofiassa keskeistä on arvon tuottaminen asiakkaalle sekä ymmärrys siitä, mistä se muodostuu. Puuhuoltoalalla ensisijainen asiakas on metsäteollisuus, jonka tilaamia tuotteita ovat erilaiset puutavaralajit. Asiakkaan kokema arvo syntyy oikeista määristä, oikean laatuista ja oikeaan aikaan tuotetuista ja toimitetuista puutavaralajeista. Toimittajalle eli yrittäjälle korvaus maksetaan määrään eli puutavaran tilavuuteen tai painoon perustuen.

Aivan kuten kaikkea työtä, myös puuhuoltoalan prosesseja voidaan tarkastella lean-filosofian mukaisesti arvovirtaa muodostavina toimenpiteiden ketjuina (LeanThinking 2020). Arvovirta muodostuu niin arvoa tuottavista kuin arvoa tuottamattomista toimista. Lähtökohtaisesti toimittajan pitäisi pystyä minimoimaan tuotannossaan arvoa tuottamaton toiminta eli hukka. Jotta tällaiseen hukkaan ja sen karsimiseen päästään käsiksi, pitää prosessit tuntea. Usein tuotannon prosessit tuntevat parhaiten itse tuotannon parissa toimivat työntekijät, joten heidän ammattitaitonsa hyödyntäminen ja kunnioittaminen on lean-johdamisfilosofiassa keskeistä.

Työn tuottavuus määräytyy tuotantoon käytetyistä panoksista suhteessa siitä saatavaan hyötyyn. Puuhuoltoalalla suurimpia panoksia ovat kalliit koneet polttoaineineen, joten

olennaista on se, miten niitä käytetään. Tuoreinta tutkimustietoa hakkuukoneiden työajanmenekistä tarjoaa Luonnonvarakeskuksen Fobia-hankkeessa tekemä seurantatutkimus (Jylhä, Jounela, Koistinen & Korpunen 2019). Suurimmat ajanmenekkiä selittävät tekijät esimerkiksi hakkuukoneella ovat hakattavan puuston rungon keskitilavuus ja hakkuutapa. Nämä tulevat huomioiduksi urakoiden taksoituksessa, eli lisääntyvä polttoaineen ja ajankäyttö kompensoidaan suurempana korvauksena. Hakkuukoneen kokonaistyöaika jakautuu tuotantoajan ja menetetyt ajan, kuten ruokatauon, kesken. Tuotantoaika koostuu käyttöajasta sekä keskeytyksistä, joita voivat olla koneen huollot, korjaukset, korjauksen odottelu, lavettikuljetukset, valmistelutyöt ja odottamattomat häiriöt. Lean-ajattelun mukaan nämä voidaan mieltää hukka-ajaksi. Käyttöaika on jaettu neljään osaan: prosessointiin, maastaojoon, muuhun työhön ja siirtoajoon (Jylhä, Jounela, Koistinen & Korpunen 2019). Koneen tehollinen työaika on vuodessa melko pieni, kun otetaan huomioon yllä olevien seikkojen lisäksi korjuuseen vaikuttavat luonnon olosuhteet, asiakkaiden kausiluonteiset urakkatilaukset ja työvoiman rajoitukset, kuten 1- tai 2-vuorotyö.

Urakat maksetaan yrittäjille hakattujen kuutioiden mukaan, joten viime kädessä tuottavaa työtä on vain rungon prosessointi. Työntekijöiltä menee varsin paljon aikaa myös muihin työvaiheisiin, kuten työmaan aloitukseen ja lopetukseen liittyviin raportointeihin. Asiakkaan näkökulmasta tällaiset eivät ole turhia, vaan osa ostettavaa palvelua, mutta turhan usein päällekkäiset toiminnanohjausjärjestelmät ja koneiden ohjelmistot sekä niiden väliset puutteelliset rajapinnat aiheuttavat työntekijälle tarpeettoman paljon käsityötä ja työajan menetyksiä itse hakkuutyöstä. Metsäkonetyössä keskeytykset eivät ole vain ajan hukkaa, vaan pelkkä koneen tyhjäkäynti on huomattavan arvokasta. Turhan polttoaineen kulutuksen lisäksi hakkuukoneeseen kertyy ylimääräisiä käyttötunteja, mikä vaikuttaa alentavasti koneen huoltoväleihin ja jälleenmyyntiarvoon (kuva 2). Lopulta hakkuukonetta uuteen vaihdettaessa vanhaan koneeseen kertyneitä tunteja arvioidaan kaupanteon yhteydessä noin 30 e/h arvoa alentavaksi.

### **Esimerkki 1:**

Koneella ajettu 10 000 h, josta 1000 h on konedatasta nähtynä tyhjäkäyntiä.  
 $30 \text{ e} \times 1000 \text{ h} = 30\,000 \text{ e}$  vaihtoarvon vähennys.

Tyhjäkäynnin aikana jäänyt työtä ja sen arvoa on vaikea arvioida, mutta kun tiedetään hakkuukoneen noin 90 e:n tuntikustannus ja se, että tyhjäkäynnillä ei puita kaadu, on  $1000 \text{ h} \times 90 \text{ e} = 90\,000 \text{ e}$  arvosta syntynyt hukkaa.

Kaikki kustannukset yhteensä:  $90\,000 \text{ e} + 30\,000 \text{ e} = 120\,000 \text{ e} / 10\,000 \text{ h}$ .  
 $120\,000 \text{ e}$  jaettuna  $10\,000 \text{ h}$  (koneen käyttötunnit) =  $12 \text{ e/tunti}$   
 $12 \text{ e} \times 8 \text{ h}$  työvuoro =  $96 \text{ e/työvuoro}$

Eli kun hakkuukone käy tyhjäkäyntiä, maksaa se työvuoron aikana noin 96 e olettaen, että koneella ajetaan 10 000 h, minkä jälkeen se vaihdetaan uuteen.

**KUVA 2.** Esimerkki hakkuukoneen tyhjäkäynnin aiheuttamasta kustannusvaikutuksesta.

Lean-ajattelussa työtahdin kiristäminen ei ole olennaista vaan odotusaikojen poistaminen tuotantoketjussa. Oman yrityksen tuotantoketjun ulkopuoliset toimijat, jotka vaikuttavat omilla toiminnoillaan tuotantoketjuun, pitäisi ottaa mukaan toiminnan kehittämiseen (Vuorinen 2013). Puuhuoltoyrityksien kohdalla muut ulkopuoliset toimijat ovat puunostajat ja -myyjät, maanomistajat ja metsäasiantuntijat. Näiden ryhmien mukaan saaminen oman toiminnan kehittämiseen on kuitenkin haastavaa.

## LEAN-TYÖKALUJA PUUHUOLTOKETJUN JOHTAMISEEN

Erilaiset keskeytykset aiheuttavat tuotantoon vaihtelua, mikä taas heikentää tehokkaasti virtaavaa prosessia. Vaihtelun minimoiminen onkin yksi lean-johtamisfilosofian mukaisia tavoitteita (Torkkola 2015). Työkalun vaihtelun minimoimiseen tarjoaa esimerkiksi toimintojen standardisointi. Tehdäänkö työmaiden aloitus aina vakioidulla tavalla niin, että työskentely päästään aloittamaan mahdollisimman nopeasti ilman keskeytyksiä? Onko työvuoron vaihto suunniteltu siten, että arvoa tuottavaan työhön, kuten rungon prosessointiin, syntyy mahdollisimman pieni keskeytys? Kulkeeko tieto työntekijöiden välillä niin, että mahdollisia tulevia virheitä tai keskeytyksiä voidaan ennakoida tai jopa estää? Esimerkiksi tällaisilla konkreettisilla kysymyksillä lean-filosofian mukaiset jatkuvan parantamisen toimet voidaan tuoda käytännön tasolle ja toimiin. Metsäalan osaajat 2020 -hankkeessa pyritäänkin valmennuspäivien avulla tuomaan helposti etäiseltä kuulostava johtamisfilosofia mahdollisimman konkreettiselle tasolle. Tavoitteena on tuottaa osallistuville yrityksille sekä heidän työntekijöilleen oivallus siitä, mitä lean-ajattelu on ja miten sitä voidaan hyödyntää käytännössä. Tässä onnistumisen edellytyksenä on henkilöstön osallistaminen ja yhdessä tekeminen.

Osallistuvien yritysten toimintaa pyritään kehittämään yrittäjälähtöisesti. Suurin osa hankkeen toimenpiteistä pyritään tekemään paikan päällä eli yritysten työmailla ja -pisteissä. Lean-valmennuspäivät ovat osa hankkeen toimenpidettä ”Lean-johtamisesta uutta kannattavuutta”. Toimenpiteessä tullaan hyödyntämään aikaisemmin työmailla ja -pisteissä tehtyjä havaintoja ja kehittämistarpeita. Yritysten välisessä yhteistyössä huomioidaan puunkuljetusyritysten toiveet korjuuyrityksille ja toisin päin. Johtamisen optimointipilotissa yrityksissä haetaan ja edistetään ratkaisuja, malleja ja menetelmiä työprosesseihin, joiden kehittämistarpeet ovat tulleet esille aikaisemmissa havainnoissa. Kehitettäviä työprosesseja ovat muun muassa leimikoiden ketjuttaminen, korjuun suunnittelu, työtehtävien oikeudenmukainen jako, työn laatu, eri-ikäisten työntekijöiden erilaiset työhyvinvointivaatimukset, tiedon kulku ja esimiehen ja työntekijän välinen palaute.

## LÄHTEET

Jylhä, P., Jounela, P., Koistinen, M. & Korpunen, H. 2019. Koneellinen hakkuu: Seuranta-tutkimus. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 11/2019. Luonnonvarakeskus. Helsinki. Saatavissa: <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-326-717-6>

Lean Thinking 2020. Arvovirta – Lean sanasto. Saatavissa: <https://leantesting.fi/sanasto/arvovirta/> [Viitattu 8.9.2020]

Pekuri, A. & Herrala, M. 2013. Lean-organisaatiota rakentamassa - henkilöstön osallista-minen ja kulttuurinmuutoksen kulmakivet. Rakentajan kalenteri 2013. Saatavissa: <https://www.rakennustieto.fi/Downloads/RK/RK130702.pdf> [Viitattu 8.9.2020]

Torkkola, S. 2015. Lean asiantuntijatyön johtamisessa. Talentum Media. Helsinki.

Vuorinen, T. 2013. Strategiakirja 20 työkalua. Talentum. Helsinki.

# KONSEPTISUUNNITTELU PUURAKENTAMISEN TYÖKALUNA

Matti Kilpiäinen

Puurakentamisella on erittäin myönteinen imago, ja puun käytön lisäämiselle rakentamisessa löytyy monia syitä ympäristön, aluetalouden ja asumisterveyden näkökulmasta. Suomen hallitus on linjannut puurakentamisen kehittämisen yhdeksi valtakunnalliseksi kärkihankkeeksi. Ympäristöministeriö on asettanut puurakentamisen tavoitteeksi 45 prosentin markkinaosuuden kaikesta julkisesta uudisrakentamisesta vuonna 2025.

Puurakentamisen suhteellinen osuus ei tavoitteista huolimatta ole Suomessa kuitenkaan kasvanut. Puurakentamisen yleistymisen ja kasvun esteeksi on todettu muun muassa asenteisiin ja osaamiseen liittyvät syyt, erityisesti kun tarkastellaan vaativien monikerroksisten puurakennusten toteutumista. Aiemmin esteenä olleita säädöksiä ja määräyksiä on muutettu materiaalineutraaleiksi, eikä puun käytölle suurtenkin rakennusten materiaalina ole käytännön esteitä.

Etelä-Savon maakuntaliiton Euroopan aluekehitysrahastosta rahoittaman, Puurakentaminen Etelä-Savossa -hankkeen yhtenä tavoitteena oli kehittää menetelmiä ja toimintamalleja, joilla puurakentamisen mahdollisuuksia ja positiivista mielikuvaa vahvistettaisiin erityisesti alueen kuntapäätäjien keskuudessa. Hankkeen pilottikohteissa toteutettiin kolme erilaista konseptisuunnittelun prosessia, joiden tavoitteena oli esitellä puurakentamisen vaihtoehtoja konkreettisissa rakennuskohteissa ja tuoda erilaisia ratkaisumalleja kuntien rakennustoiminnasta vastaavien virkamiesten ja poliittisten päättäjien arvioitavaksi.

Osallistavia suunnittelumenetelmiä hyödyntävä konseptisuunnittelu mahdollisti rakennushankkeiden tarkastelun puurakentamisen näkökulmasta, ilman että rakennushankkeista oli tehty lopullisia hankepäätöksiä ja materiaaleihin liittyviä ratkaisuja. Konseptoinnin tuloksena syntyneiden suunnitelmien avulla voitiin kuitenkin hyvin konkreettisesti tarkastella puurakentamisen mahdollisuuksia hankkeeseen osallistuneiden kuntien ja kaupunkien pilottikohteissa.

Konseptisuunnitelmat toteutti Studio Puisto Arkkitehdit Oy, ja suunnittelua ohjaaviin työpajoihin osallistui kunkin hankkeen suunnittelusta ja päätöksenteosta vastaavia tahoja sekä suunnittelukohteen käyttäjiä. Lisäksi työpajoissa hyödynnettiin ulkopuolisia asiantuntijoita alueen yrityksistä ja Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulusta ja Metsäkeskukselta.

## KONSEPTISUUNNITTELU

Konseptilla voidaan tarkoittaa esimerkiksi suunnitelmien luonnoksia, ennakkolaskelmia, aikomuksia, (yrityksen) toiminta-ajatusta tai tuoteideaa. Konseptilla voidaan määritellä jonkin suuremman kokonaisuuden yhteisiä piirteitä – ”*Myymälät ovat kauppaketjun uuden konseptin mukaisia*” (Kielitoimiston sanakirja 2020).

Tuotekehityksessä konseptisuunnittelulla tarkoitetaan tuotteen tai palvelun kehittämistä ennen varsinaista tuotekehityspäätöstä. Konseptoinnilla voidaan kartoittaa uuden teknologian mahdollisuuksia yritystoiminnan tulevaisuuden kannalta, valmistautua tulevaan tuotekehityshankkeeseen, etsiä radikaaleja uusia ratkaisuja ja kartoittaa tuotekehityksen sumeaa alkupäätä tai konkretisoida näköpiirissä olevia vaihtoehtoja. Konseptisuunnittelun yhteinen piirre on, että suunnittelua tehdään ilman välitöntä tavoitetta suunnitteluongelman ratkaisuksi: tuotteeksi, palveluksi tai rakennukseksi.

Rakennushankkeessa konseptisuunnittelulla voidaan hakea vastauksia kysymyksiin, jotka liittyvät rakennuksen käyttötarkoitukseen tai siihen, kuinka rakennus toteutetaan. Konseptisuunnitteluvaiheessa määritellään koko hankkeen yleisiä periaatteita, jotka ohjaavat rakennuksen varsinaista suunnittelua. RT-kortin rakennushankkeen vaiheisiin (tarveselvitys, hankesuunnittelu, rakennussuunnittelu, rakentaminen ja käyttöönotto) konseptisuunnittelu sijoittuu luontevasti tarve- ja hankesuunnittelua täydentäväksi suunnitteluvaiheeksi.

Konseptisuunnitelma kokoa suunnittelun eri osapuolten näkemyksiä ja tarpeita yhteisesti ymmärrettäväksi suunnitelmaksi, johon eri osapuolet eli päättäjät, käyttäjät, suunnittelijat ja rakentajat voivat ottaa kantaa ja sitoutua. Eri osapuolten osallistamiseksi konseptisuunnittelulle on tyypillistä erilaisten työpajojen ja yhteissuunnittelun sekä useiden iterointikierrosten hyödyntäminen. Konseptisuunnittelun keskeisin tavoite on avoimen toimeksiannon ja laajan yhteiskehittämisen avulla tuottaa rakennushankkeelle sellaista lisäarvoa, joka ei muilla kehittämisen ja suunnittelun menetelmillä ole mahdollista.

Rakennushankkeen kokonaisuuden kannalta konseptoinnilla voi olla erilaisia luonteita ja tavoitteita, jotka on syytä määritellä ja tiedostaa ennen konseptointiprosessin aloitusta. Konseptointiprosessiin osallistujien työskentelyn ja tavoiteltavan lopputuloksen kannalta on tärkeää ymmärtää, millä tasolla ja tarkkuudella konseptisuunnittelua kulloinkin tehdään.

Konseptoinnin luonne ja tavoitteet voidaan määritellä kolmessa eri kokonaisuudessa:

- 1) Visioiva konseptointi
- 2) Kehittävä konseptointi
- 3) Määrittelevä konseptointi



**Visioivalla konseptoinnilla** voidaan tutkia ja hakea laajaa, pitkälle tulevaisuuteen tähtäävää visiota alueen arkkitehtuurista tai kaavoituksesta. Prosessin tuloksena voi syntyä radikaalisti uudenlaisia näkemyksiä konseptoinnin kohteesta, mutta suunnitelmassa tuotettujen tulosten ei oleteta sellaisenaan välttämättä koskaan toteutuvan. Visioivan konseptoinnin tuloksilla voi olla esimerkiksi alueen myöhempää rakentamista ja kehittämistä ohjaava rooli. Konseptointi voi olla osa kaavoitukseen liittyvää ennakoitintyötä, jolla haetaan näkemyksiä mahdollisista tulevaisuuksista. Visioivalla konseptoinnilla voidaan aktivoida eri tahojen osallistumista ja kiinnostusta radikaalisti uudenlaisten asioiden kehittämiseen.

**Kehittävän konseptoinnin** tavoitteena on tutkia ja kartoittaa rakennuskohteen tai -hankkeen eri mahdollisuuksia ja ulottuvuuksia. Konseptoinnin taustalla voi olla alustavaa tarvekartoitusta, jonka pohjalta halutaan tuottaa esimerkiksi vaihtoehtoisia näkemyksiä rakennushankkeen sisällöiksi. Kehittävässä konseptoinnissa voidaan osallistaa laajasti eri rakennushankkeeseen liittyviä tahoja: käyttäjät, suunnittelijat, rakentajat, rakennuttajat. Tavoitteena voi olla yhteisen näkemyksen kehittäminen ja hankkeeseen liittyvien eri osapuolten sitouttaminen varsinaisen rakennushankkeen suunnitteluun ja toteutukseen. Kehittävän konseptoinnin tuloksena voi syntyä vaihtoehtoisia periaateratkaisuja rakennuksen sijoittumisesta tai tilojen käyttöön liittyviä suunnitelmia. Kehittävä konseptointi luo pohjaa ja tietoa varsinaiselle rakennushankkeen päätöksenteolle, suunnittelulle ja toteutukselle.

**Määrittelevä konseptointi** tähtää rakennushankkeen toteutukseen. Tavoitteena voi olla esimerkiksi rakennusmateriaaleihin liittyvän tutkimustiedon soveltaminen rakennushankkeessa tai tilojen käyttöä määritteleviä suunnitelmia. Määrittelevälle konseptoinnille on tyypillistä, että tuotetaan vaihtoehtoisia suunnitelmia, joita voidaan arvioida esimerkiksi kustannusten tai käytettävyyden näkökulmasta. Määrittelevällä konseptoinnilla voidaan ennakoida ja tukea rakennuksen hankesuunnitteluvaihetta ja tuottaa hankesuunnitelmassa kuvattuihin toiminnallisiin tarpeisiin pohjautuvia suunnitteluratkaisuja.

## KONSEPTISUUNNITTELU PUURAKES-HANKKEESSA

Puurakentaminen Etelä-Savossa (Puurakes) -hankkeessa kehitettiin ja edistettiin suuria puurakennushankkeita Etelä-Savossa. Yleisen mielipidevaikuttamisen lisäksi hankkeessa tarkasteltiin puurakentamisen eri vaiheisiin liittyviä kehittämistarpeita sekä kehitettiin puurakentamisen vaikuttavuuden mittareita ympäristön ja aluetalouden näkökulmasta.

Hankkeessa edistettiin puurakentamista viidessä eri rakennushankkeessa Etelä-Savossa, ja niistä kolmessa hankkeessa toteutettiin kohteen puurakentamisen vaihtoehtoja ja mahdollisuuksia kartoittavat konseptisuunnitelmat.

Konseptisuunnittelun kohteet olivat käynnistys- tai alkuvaiheessa olevia rakennushankkeita Puumalassa, Savonlinnassa ja Mikkelissä. Kaikkien konseptisuunnitelmien tavoitteena

oli kehittää ja ennakoida puurakentamisen mahdollisuuksia rakennushankkeissa, mutta konseptoinneissa otettiin kantaa myös muun muassa rakennuskohteiden tilankäyttöön, rakennusten sijoittumiseen ja aluesuunnitteluun. Konseptisuunnitelmat toteutettiin ennen rakennushankkeiden varsinaista suunnitteluvaihetta. Samankaltaisuudesta huolimatta kullekin hankkeelle syntyi myös omat, toisistaan poikkeavat roolit ja tavoitteet.

Konseptisuunnittelun soveltamisen tavoitteena oli rakennushankkeiden päätöksentekoon liittyvän epävarmuuden vähentäminen ja erilaisten vaihtoehtojen kartoitus liittyen erityisesti puumateriaalin käyttöön rakennuskohteissa. Konseptoinnilla pystyttiin myös jalostamaan rakennushankkeiden puurakentamiseen liittyviä sisältöjä sekä laajemminkin käytettävyyteen, tilasuunnitteluun ja aluesuunnitteluun liittyviä ratkaisuja.

## **PUUMALAN PISTOHIEKAN MATKAILUALUEEN KONSEPTISUUNNITTELU**

Puumalan Pistohiekan matkailualueen konseptisuunnittelun tavoitteena oli tuottaa suunnitelma, joka kuvaa alueen omistajien, Puumalan kunnan ja Metsähallituksen tahtotilaa ja visiota alueen tulevaisuudesta. Konseptisuunnitelman avulla haluttiin tuottaa alueen historiaan ja luontoarvoihin soveltuvia esimerkkejä alueen matkailurakentamisesta ja -toiminnoista, jotka toimisivat alueen kehittämistä ohjaavina ja kehittämisestä kiinnostuneiden investoreiden ja operaattoreiden kiinnostuksen herättäjinä.

### **1. TAUSTA JA TILANNE (KUVA 1)**

Pistohiekka sijaitsee Saimaan Lietveden pohjoisrannalla Etelä-Savossa. Luontomatkailun kannalta alueen sijainti on hyvin saavutettavissa sekä maa- että vesiteitse. Etäisyydet kaupunkikeskuksiin ja kulkuyhteydet ovat matkailutoiminnan kannalta toimivat. Alue rajautuu Lietvedentien ja Saimaan väliin. Lietvedentietä (kantatie 62) pääsee Puumalaan (17 km), Mikkeliin (55 km), ja Lappeenrantaan (120 km).

Pistohiekan alue tunnetaan tassilava- ja leirintäaluetoiminnasta sekä hiekkapohjaisesta rannasta, jota on asemakaava-alueella yhteensä noin 1 200 metriä. Rannan edustalla on lähes sadan metrin levyinen matalikko. Kaavoitetun ja kehittämistyön alla olevan alueen ulkopuolella sijaitseva tanssilava jatkaa edelleen toimintaansa. Kaavoitetulla alueella sijainneen leirintäalueen toiminta on lakannut, ja toimintaan liittyvät rakennukset ja rakenteet on purettu. Pistohiekka tunnetaan hyvin erityisesti karavaanareiden keskuudessa, ja aluetta käytetään aktiivisesti omaehtoiseen leiriytymiseen.

Pistohiekalla on valmis asemakaava, joka sai lainvoiman syksyllä 2017. Kaavassa alueelle on osoitettu yhteensä seitsemän korttelia rakentamiseen. Alueen omistavat Puumalan kunta ja Metsähallitus. Pistohiekan alue käsittää yhteensä noin 39 hehtaaria, ja rakennusoikeutta on

kaikkiaan 20 300 kerrosneliometriä. Keskeisimmälle paikalle, aivan Lietvedentien läheisyyteen on mahdollista rakentaa majoitus-, ravintola-, kokous- ja talousrakennuksia. Liiketoimiltoille, rantasaunoille ja yksittäisille majoitusrakennuksille on osoitettu kaavassa omat paikkansa, samoin huolto- ja varastorakennuksille. Aluetta voidaan käyttää myös caravan-alueena.

Puumalan kunta on linjannut Pistohiekan kehittämistä Matkailun Master Planissa 2009 sekä Kuntastrategiassa 2018–2025. Linjauksissa korostuvat alueen luontoa kunnioittava ekologinen rakentaminen, luonto- ja hyvinvointimatkailu ja korkeatasoiset palvelut kansainvälisille kohderyhmille.

Pistohiekka on yksi Saimaan Geopark -kohteista. Saimaan Geopark on alueen kuntien ja kaupunkien muodostama yhteenliittymä, jonka tarkoitus on koota yhteen ja markkinoida luonto- ja geomatkailun toimintoja eteläisellä Saimaalla.

## 2. ALUEEN SUUNNITTELUA OHJAAVAT TEKIJÄT (KUVA 1)

Puumalan Pistohiekan matkailualueen konseptointiprosessi toteutettiin Puumalan kunnan, Metsähallituksen ja Puurakentaminen Etelä-Savossa -hankkeen yhteisrahoituksella.

Konseptointiprosessi käynnistyi 4.12.2018 Puumalan kunnan Pistohiekka -hankkeelle nimetyn ohjausryhmän päätöksellä. Prosessille päätettiin hakea ulkopuolinen puu- ja matkailurakentamiseen erikoistunut asiantuntijataho. Hankinnassa hyödynnettiin neuvottelumenettelyyn pohjautuvaa hankintaprosessia, joka mahdollisti myös konseptointiprosessin sisältöjen suunnittelun tilaajan ja tarjoajien kanssa ennen hankintapäätöksen tekoa. Hankintaprosessin neuvotteluvaiheeseen valittiin kaksi tarjoajaa, joilta pyydettiin tarkemmat suunnitelmat konseptointiprosessin sisällöiksi.

Tilajatahot määrittivät Pistohiekan konseptisuunnittelulle päätavoitteen, johon sisältyi kaksi Pistohiekan tulevaisuuden kannalta keskeistä tekijää.

Tavoitteena on saada aikaan Pistohiekan alueen operaattori- ja sijoittajahakua tukeva, luontoa ja ympäristöä kunnioittava konseptisuunnitelma, joka luo pohjan **liiketaloudellisesti kannattavalle matkailutoiminnalle** sekä **alueen luonto- ja kulttuuriarvoihin perustuvalla puurakentamisella**.

Konseptisuunnitelmassa haluttiin tarkastella Pistohiekan alueen matkailutoimintojen mahdollisuuksia ja osoittaa alueen erityiset vahvuudet ympärivuotisen liiketoiminnan kannalta.

Konseptisuunnitelman toisena tavoitteena oli visiotason konseptointi alueen puurakentamisen tulevaisuudesta luonto- ja hyvinvointimatkailun, vapaa-ajan asumisen, yhteisöllisen rakentamisen ja paikalliskulttuurin näkökulmasta.

### 3. KONSEPTISUUNNITTELUN AJURIT (KUVA 1)

Pistohiekan konseptisuunnitelman toteuttajaksi valittiin Studio Puisto Arkkitehdit Oy. Prosessi käynnistettiin tilaajan ja toteuttajan yhteisellä aloituspalaverilla 12.2.2019, jossa määriteltiin konseptointiprosessin aikataulu, vaiheet ja prosessiin osallistuvat tahot.

Konseptointiprosessin aikana järjestettiin kaksi työpajaa, joihin osallistui Pistohiekan ohjausryhmän lisäksi matkailun ja aluekehityksen asiantuntijoita ja Pistohiekan kehittämiseen liittyviä tai siitä kiinnostuneita tahoja sekä puurakentamisen ja matkailun asiantuntijoita. Työpajat järjestettiin Puumalan alueella toimivien matkailukohteiden tiloissa Olkkolan lomamökeillä sekä Sahalahden matkailukeskuksessa.

Ensimmäisen työpajan lähtökohdiksi määriteltiin laajemmat Pistohiekan kehittämiseen soveltuvat, nouseviin matkailutrendeihin pohjautuvat teemat, jotka valittiin konseptisuunnittelua ohjaaviksi ajureiksi:

#### **Uusi hyvinvointi:**

- aitoja nautintoja
- merkityksellistä tekemistä

#### **Puumatkailu:**

- luonnon helmassa
- yöpymisestä elämys

Uusi hyvinvointi -teemalla haluttiin korostaa hyvinvointimatkailun mahdollisuuksia Pistohiekan kehittämisessä. Hyvinvointia määriteltiin aitojen elämysten lisäksi erityisesti merkitysmatkailun sisällöillä, joissa korostuvat vastuullisuuteen, aitouteen ja omaehtoiseen tekemiseen liittyvät aiheet.

Puumatkailu-teemaan liitettiin luonnon helmassa tapahtuvien aktiviteettien ja niihin liittyvien rakenteiden kehittäminen sekä alueen luontoon liittyvien yöpymisrakenteiden kehittäminen. Majoitukseen liittyvien rakenteiden ja ratkaisujen kehittämisessä korostettiin elämyksen lisäksi myös kustannuksiltaan erilaisille kohderyhmille soveltuvia ratkaisuja.

### 4. KEHITTÄMISIDEAT (KUVA 1)

Työpajoissa kärkikohteita kehitettiin pienryhmissä eri teemoihin perustuvan moodboard-menetelmän avulla. Teemoja taustoitettiin ennakkoon valituilla referenssikohteilla.

Työpajan tuloksena syntyi laaja, noin kahdenkymmenen nimikkeen joukko ideoita ja ajatuksia Pistohiekan potentiaalisiksi kehittämisen kohteiksi. Ideat ja ajatukset nimettiin niiden sisältöä kuvaaviksi toiminnoiksi ja tuotteiksi tai palveluiksi.

Tämän aineiston pohjalta suunnittelijat ja projektiryhmä tarkensivat Pistohiekan konseptisuunnittelun kärkikohteet, joita edelleen kehitettiin laajemmassa kärkikohdetyöpajassa Sahalahti Resortissa 4.4.2019. Työpajaan osallistui Puumalan kunnan edustajien lisäksi joukko matkailun ja puurakentamisen asiantuntijoita.

## 5. KONSEPTISUUNNITTELUN KÄRKIKOhteET (KUVA 1)

Kärkikohteiksi valikoitui Pistohiekan toiminnan alkuvaiheen kannalta kriittiset toiminnot. Alueen kehittymisen kannalta oli tärkeää, että suunnittelun ja rakentamisen ensimmäinen vaihe sisältäisi toisaalta riittävästi toimintoja, mutta niin että alue kehittyisi ja rakentuisi vaiheittain.

Kärkikohdetyöpajassa Pistohiekan konseptisuunnitelmaa kehitettiin kolmen otsaketasolla määritellyn kärkikohteen pohjalta. Työpajan tavoitteena oli kehittää ja määrittellä kunkin otsakkeen alle eri tasoisia, toimintaa ja sisältöä määritteleviä tekijöitä.

Konseptisuunnitelmassa esitettiin kohteiden toiminnallisia ja rakenteellisia malleja sekä niiden kaavan mukaista sijoittumista alueelle. Lisäksi konseptisuunnitelmassa esiteltiin eri kohteiden liiketoiminnallisia mahdollisuuksia.

### 1) Järvikylpylä

saunomiseen painottuva, erottuva ja korkealaatuista puuarkkitehtuuria edustava aidon kylpemiskokemuksen tarjoava järvikylpylä Lake Saunas on erilaisten sauna- ja spahoitilojen yhdistelmä, josta löytyy sekä intiimimpiä saunomis- ja spatiloja sekä julkisempia myös suuremmille ryhmille soveltuvia tiloja

### 2) Low cost- majoituskohde

nollaglampring-teltasta seuraava tai satamaan liittyvä kelluva majoitus pienellä budjetilla, ajatuksena myös näkymät ja liittyminen Geopark-tematiikkaan

### 3) Edellisten lisäksi konseptisuunnitelmassa haluttiin kehittää myös Pistohiekan satama-alueetta yleisemmällä tasolla, mikä koettiin tärkeäksi alueen imagon ja alueelle saapumisen kannalta. Satama-alueen kehittämiseen voitiin myös sijoittaa viitteellisinä esimerkkeinä kelluvaan majoitukseen ja vesiaktiviteetteihin liittyviä ideoita.

## 1. TAUSTA JA TILANNE

Pistohiekan historia ja tarina  
Saimaa Geopark –kohde  
Kehitys- ja kaavoitusprosessi  
Kehittämiskysely  
Matkailun Master Plan (2009)

## 2. ALUEEN SUUNNITTELUA OHJAAVAT TEKIJÄT

Luonto ja ympäristö

Liiketaloudellisesti kannattava,  
ympäri vuotinen matkailutoiminta

Luonto- ja kulttuuriarvoihin perustuva  
puurakentaminen

Alueen ominaispiirteisiin  
perustuvia ratkaisuja

## 3. KONSEPTISUUNNITTELUN AJURIT

**Uusi hyvinvointi:**  
- aitoja nautintoja  
- merkityksellistä tekemistä  
**Puumatkailu:**  
- luonnon helmassa  
- yöpymisestä elämys

## 4. KEHITTÄMISIDEAT

**Aitoja nautintoja:**  
1. Lähtuottajatori  
2. Järvikylpylä Lake saunas  
3. Järvi Bistro & Breakfast  
4. DIY-Gourmet –ravintola  
**Merkityksellistä tekemistä:**  
5. Pistohiekan puutarha  
6. Satamakylä  
7. Verstaskylä

**Luonnon helmassa:**  
8. Geopark-keskus  
9. Geoverkosto  
10. Pistohiekan rantapaviljongit  
11. Norppa Expeditions  
**Yöpymisestä elämys:**

**Low cost:**  
12. Metsämajahotelli  
13. Nollaglamping  
14. Yhteisöllinen mökkimajoitus  
**Mid range:**  
15. Erähostelli-kestikievari  
16. Metsächalet  
17. Unihotelli  
**High end:**  
18. Satamahotelli & kokoussalonki  
19. Kelluva majoitus

## 5. KONSEPTISUUNNITTELUN KÄRKIKOHTHEET

**Järvikylpylä**  
- saunomiseen painottuva, erottuva ja korkealaatuista puuarkkitehtuuria edustava  
- aidon kylpemiskokemuksen tarjoava järvikylpylä Lake Saunas on erilaisten sauna- ja spahoitotilojen yhdistelmä, josta löytyy sekä intiimimpiä saunomis- ja spatiloja sekä julkisempia, suuremmille ryhmille soveltuvia tiloja  
**Low cost- majoituskohde**  
- Nollaglamping -teltasta seuraava majoitus, pienellä budjetilla  
- näkymät ja liittyminen Geopark-tematiikkaan  
**Satama-alue**  
- alueen imago ja saapuminen  
- viitteellisinä kelluvaan majoitukseen ja vesiaktiviteetteihin liittyviä ideoita.

**KUVA 1.** Pistohiekan matkailualueen konseptointiprosessin eri vaiheet ja niiden tuottamat tulokset.

## JOHTOPÄÄTÖKSET

Puurakentaminen Etelä-Savossa -hankkeessa tehtyjen konseptisuunnitelmien lähtökohtana on oletus, että hankkeiden tarveselvitystä ja hankesuunnittelua tukevalla konseptisuunnittelulla voitaisiin paitsi kehittää rakennusten toimivuutta ja käytettävyyttä, myös erityisesti tutkia ja kehittää puurakentamisen mahdollisuuksia kohteissa. Osallistavan konseptisuunnittelun avulla voitiin myös tuoda puurakentamisen hyötyjä ja haasteita rakentamisesta vastaavien kuntapäättäjäiden ja asiantuntijoiden tietoisuuteen sekä kehittää heidän puurakentamisen osaamista.

Puurakes-hankkeessa konseptisuunnittelulla tutkittiin ja kehitettiin rakennuksen sijoittamiseen, rakennusmateriaaleihin sekä alueen laajempaan rakentamiseen ja käyttöön liittyviä tekijöitä. Kaikissa tapauksissa konseptisuunnittelua toteutettiin tilanteessa, jossa rakennuskohteisiin liittyviä lopullisia päätöksiä ei ollut tehty ja konseptisuunnitelmissa voitiin hankkeiden sisältöjä kehittää ilman välitöntä toteuttamistavoitetta. Konseptisuunnitelmissa tuotettu suunnitteluaineisto sisälsi monia pitkälle vietyjä mahdollisia ratkaisumalleja, joita voitiin sellaisena arvioida ja käsitellä eri tahojen toimesta.

Konseptointivaiheessa tuotettua ja arvioitua suunnitteluaineistoa voidaan hyödyntää rakennushankkeiden esittelyssä ja arvioinnissa sekä päätöksentekoa ja suunnittelua ohjaavana materiaalina.

## LÄHTEET

Härkönen, E. 2016. Ennakoiva suunnittelu- ja rakentamisprosessi julkisissa rakennushankkeissa. Diplomityö. Oulun yliopisto Arkkitehtuurin tiedekunta. WWW-dokumentti. Saatavissa: <http://jultika.oulu.fi/Record/nbnfioulu-201609292854>.

Määttä, K., Hietala, J., Jutila, K. 2016. Puurakentaminen: sääntelyn kapeikot ja kehittämismavaihtoehdot. PTT työpapereita. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.ptt.fi/julkaisut-ja-hankkeet/kaikki-julkaisut/puurakentaminen-saantelyn-kapeikot-ja-kehittamismavaihtoehdot.html>.

Puumalan kuntastrategia 2018–2025. WWW-dokumentti. Saatavissa: [http://puumala.fi/wp-content/uploads/Strategia-2018-2025\\_FINAL.pdf](http://puumala.fi/wp-content/uploads/Strategia-2018-2025_FINAL.pdf).

Puumalan matkailun master plan, Finnish Consulting Group 2009. WWW-dokumentti. Saatavissa: <http://puumala.fi/wp-content/uploads/matkailu.pdf>.

Keinonen, T., Jääskö, V. 2003. Tuotekonseptointi, Teknologiateollisuus ry.

Hyysalo, S. 2009. Käyttäjä tuotekehityksessä. Taideteollinen korkeakoulu Pistohiekan matkailualueen ranta-asemakaava. WWW-dokumentti. Saatavissa: <http://213.214.143.183/download/noname/%7B53238d99-d6d7-4941-8ba8-f04e49baacb1%7D/14675>.

YM:n tiedote 8.9.2020. WWW-dokumentti. Saatavissa: [https://www.ym.fi/fi-FI/Yhaseampi\\_julkinen\\_rakennus\\_on\\_pian\\_ra\(58563\)](https://www.ym.fi/fi-FI/Yhaseampi_julkinen_rakennus_on_pian_ra(58563)).



# TUOTANNON SIMULOINTI JA VISUALISOINTI

Mikko Hokkanen & Kimmo Haapea

”Kiertotalous ja kehittyvien yritysten uudet liiketoimintamallit 2020-luvun alustataloudessa” on Etelä-Savon maakuntaliiton Euroopan aluekehitysrahastosta rahoittama ja Mikkelin kehitysyhtiö Miksei Oy:n sekä Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulun toteuttama hanke, jossa yritysten toimintakulttuurin muutosta pyritään tukemaan ja vauhdittamaan muun muassa ketterien kokeilujen ja työpajatoiminnan avulla. Hankkeen yhtenä tavoitteena on tuoda simulointityökaluja tuotannollisten yritysten käyttöön ja osoittaa niillä saavutettavia hyötyjä yritysten kilpailukyvyen kehittämiseksi.

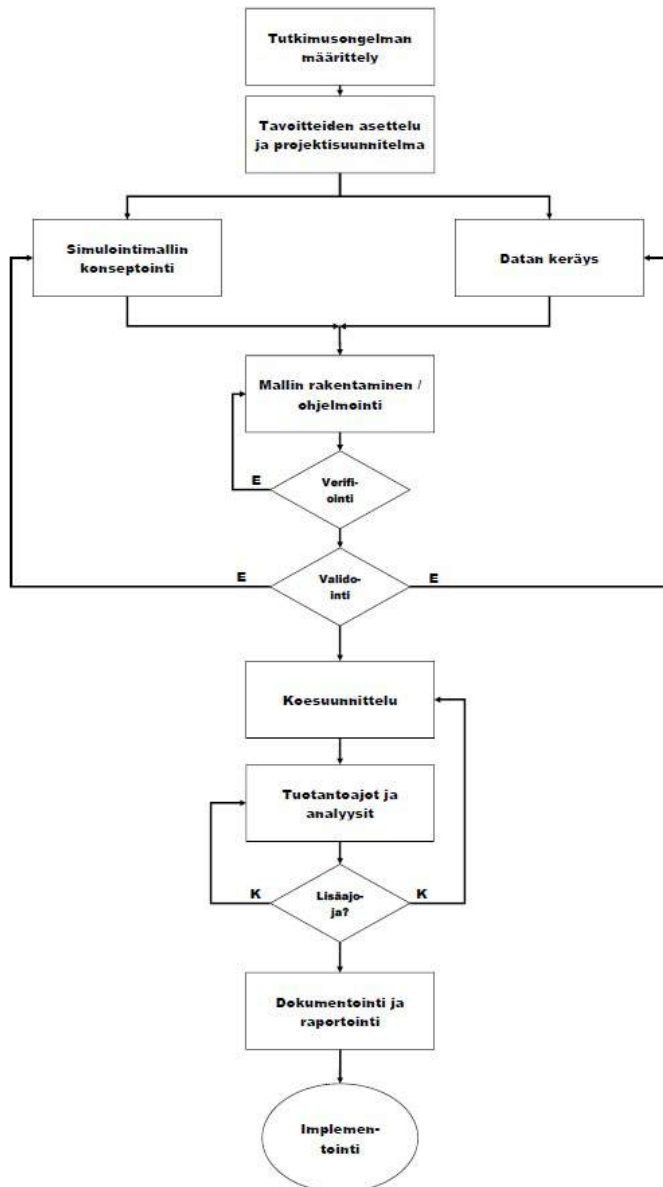
## SIMULOINNISTA YLEISESTI

Simuloinnilla tarkoitetaan reaali-prosessien tai -systemien toiminnan jäljittelyä ajan suhteen. Menetelmän keskeisenä elementtinä on simulointimalli, joka sisältää systeemin käyttäytymiseen liittyviä sääntöjä ja niiden voimassaoloehtoja. Säännöt voidaan ilmaista systeemin objektien tai niiden muodostamien kokonaisuuksien välisillä matemaattisilla, loogisilla tai symbolisilla suhteilla. Simulointimallit voidaan luokitella matemaattisten ja fyysisten mallien lisäksi staattisiksi tai dynaamisiksi, deterministisiksi tai stokastisiksi, diskreeteiksi tai jatkuviksi. Staattinen malli esittää simuloitavaa systeemiä tiettyinä ajanhetkenä, kun taas dynaaminen malli esittää systeemin tilamuutokset ajan suhteen jatkuvana. Deterministisen mallin sisältämät muuttujat ja parametrit ovat tyypiltään vakioita, joten niiden tuottama toiminta toistuu samanlaisena ja mallin tuottamat simulointitulokset riippuvat eri objektien välisistä vuorovaikutuksista. Stokastinen malli sisältää yhden tai useamman satunnaismuuttujan ja lähtötietojen satunnaisuus aiheuttaa myös tulosten satunnaisuuden. Diskreettien, tapahtumapohjaisten systemien tila vaihtuu ajan kuluessa erillisten tapahtumien vaikutuksesta tiettyinä ajan hetkenä, kun taas jatkuvien systemien tila muuttuu ajan suhteen jatkuvasti. (Banks 2010) Harvat reaalisystemit ovat puhtaasti diskreettejä tai jatkuvia, mutta useimpien systemien tilan määrittelee tyypiltään epäjatkuva tai jatkuva muutos, jonka perusteella systemit ovat luokiteltavissa (Law 2007).

Soveltuva simulointimenetelmä riippuu simuloitavasta systemistä, tutkittavasta ongelmasta ja tutkimuksen tavoitteista. Viime aikoina taulukkolaskentaohjelmistojen ja ohjelmointikielien käyttö simuloinnissa on vähentynyt erilaisten simulointiohjelmistojen kehittymisen myötä. (Brailford 2014) Kehityksessä ovat kulkeneet mukana myös perinteiset CAD/CAM-ohjelmistojen tuottajat, joista valtaosa on lisännyt erilaisiin simulointeihin kykeneviä osia osaksi ohjelmistojaan yhdistäen muun muassa tuotteen ja tuotannon suunnittelun samalla ohjelma-alustalla toimivaksi kokonaisuudeksi.

## TUOTANNON SIMULOINTI

Tuotannon simulointisovellukset sisältävät sekä laitossuunnitteluun että laajojen toimitusketjujen simulointiin tarkoitettuja sovelluksia. Tyypillisesti simulointimalleja käytetään esimerkiksi järjestelmän suorituskyvyn ennustamiseen ja kahden tai useamman järjestelmämallin tai tuotantoskenaarion vertailuun. Banks ym. (2010, 35) esittelivät vuonna 2006 simulointiprojektin päävaiheita kuvaavan syklin (kuva 1). Syklimäisen esityksen tarkoituksena on korostaa projektin vaiheiden jatkumista aina siihen asti, kunnes tyydyttävä lopputulos saavutetaan. (Banks 2010)



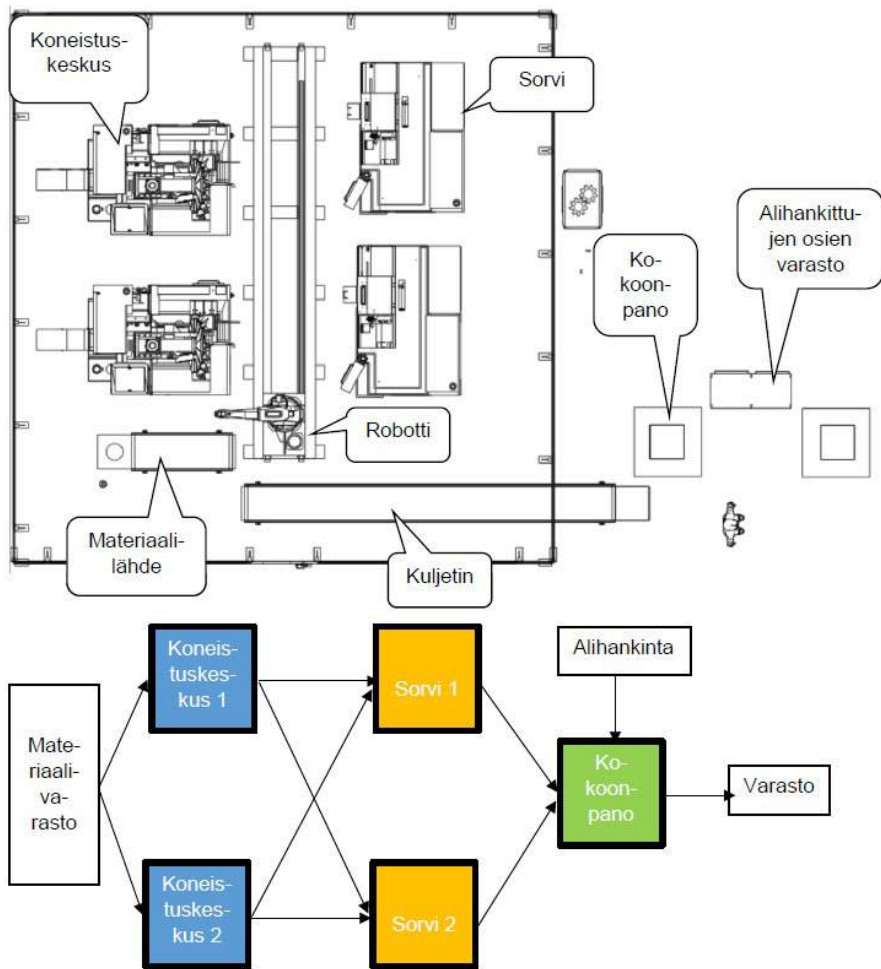
**KUVA 1.** Simulointiprojektin vaiheet (Banks 2010).

Tutkimusmenetelmänä simulointi koostuu pääasiassa valmistelu-, toteutus- ja arviointivaiheista. Valmisteluvaiheessa selvitetään tutkimusongelma ja tutkimuksen tavoite sekä kerätään tarvittavat lähtötiedot simuloitavasta systeemistä. Toteutusvaiheessa tehdään simulointimalli ja suoritetaan mallin verifointi ja validointi. Simulointimallin verifoinnilla tarkoitetaan mallin oikeellisuuden tarkistamista esimerkiksi loogisten tai syntaksivirheiden varalta. Validoinnilla tarkoitetaan simulointimallin ja simuloitavan systeemin vastaavuuk-sien testaamista, jolloin mallin tulisi annetuilla parametreilla tuottaa todellisuutta vastaavia tuloksia. Simulointimalli on kuitenkin rakennettu periaatteessa vain tietyn tyyppisten, valmisteluvaiheessa määritettyjen tutkimusongelmien tutkimiseen, joten kaikkia mah-dollisia systeemin muuttujia ja niiden välisiä vuorovaikutuksia ei ole mielekästä tai edes mahdollista tutkia sen avulla, joten validointi tehdään erillisen suunnitelman mukaisesti. Arviointivaiheessa mallin toteuttamat tiedot analysoidaan ja tuloksista tehtyjen tulkintojen perusteella muodostetut johtopäätökset siirretään todellisuuteen esimerkiksi muuttuneiden systeemi-parametrien muodossa. (Müller 2017)

Sovellukset ja simulointia varten mallinnettavien objektien detaljitaso valitaan tavoitteiden mukaan. Kun laajan tuotantojärjestelmän tai toimitusketjun simuloinnin tavoitteena on esimerkiksi selvittää mahdollisten tilaus-toimitusprosessien läpimenoaikoja, tuotannon yksittäisten vaiheiden, kuten hitsauksen ja koneistuksen, detaljitaso on tyypillisesti matala. Tässä tapauksessa oleellisinta on, että prosessin eri vaiheet kuluttavat prosessiaikaa todelli-suutta vastaavasti ja vaiheet varaavat myös tarvittavat resurssit, kuten henkilöstön, koneet, laitteet, työkalut, materiaalit ja osavalmisteet. Toisaalta simuloinnin tavoitteena voi olla myös visuaalisen palautteen kerääminen esimerkiksi tuotantojärjestelmän layout-suunnittelun yhteydessä, jolloin tarvittava detaljitaso nousee merkittävästi.

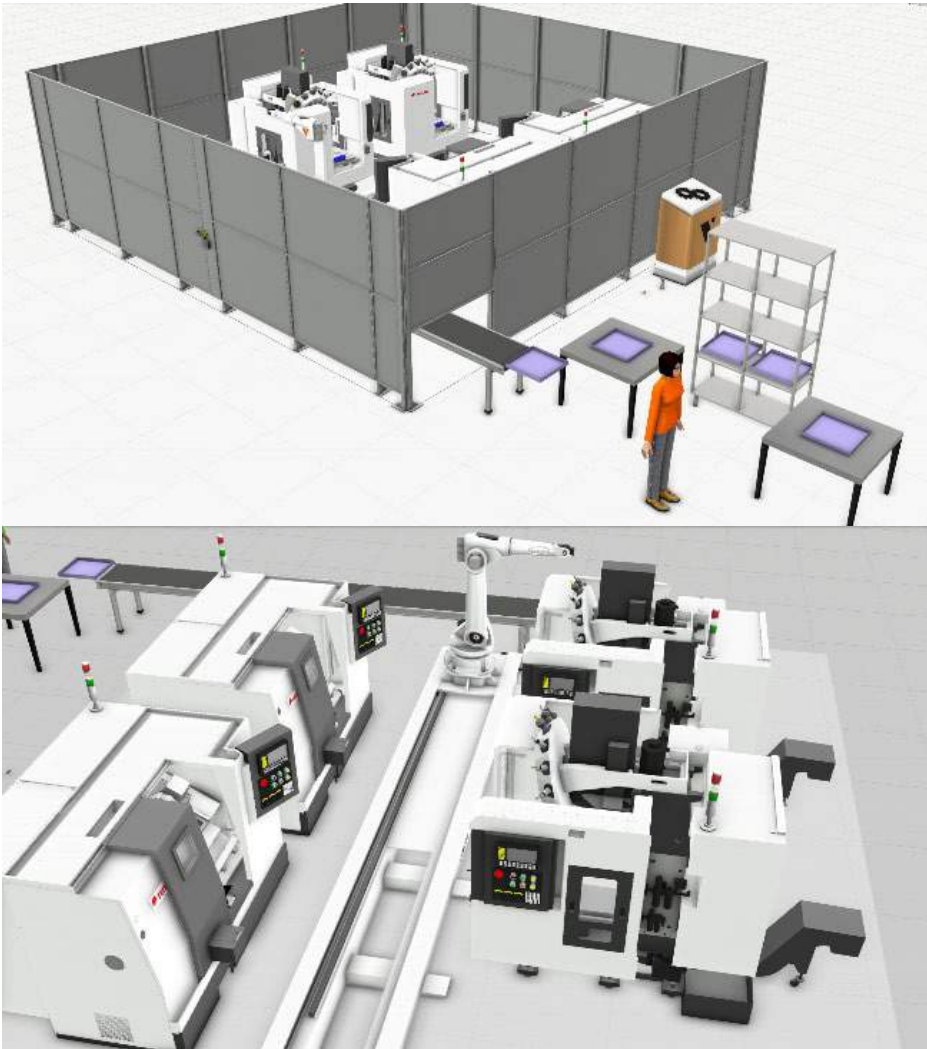
## **ESIMERKKEJÄ TUOTANNON SIMULOINNISTA JA VISUALISOINNISTA**

Simulointiesimerkit on toteutettu Visual Components -ohjelmalla. Ensimmäisessä ta-pauksessa tarkastellaan tilannetta, jossa robotti palvelee neljän työstökoneen solua. Solusta saatavat osavalmisteet toimitetaan kokoonpanoon, jossa manuaalinen kokoonpano tapahtuu järjestelmässä tuotettujen ja järjestelmään alihankinnasta tuotujen osien avulla. Mallin rajaus on tehty siten, että solua edeltävät materiaalityöminnot (mm. raaka-aineväaraasto ja aihion valmistus) ja alihankinta on jätetty tarkastelun ulkopuolelle. Näin ollen solun tarvit-semia aihioita ja kokoonpantavia alihankintaosia on aina saatavilla riittävästi. Tutkittavan järjestelmän layout ja virtauskaavio on esitetty kuvassa 2.



**KUVA 2.** Simuloitavan järjestelmän layout ja virtauskaavio.

Simuloinnin tavoitteena on selvittää tuotannon tahti-aika ja mahdollisten kapeikkojen sijainti. Järjestelmän visuaalinen malli on esitetty kuvassa 3.



**KUVA 3.** Simuloitavan järjestelmän visuaalinen malli.

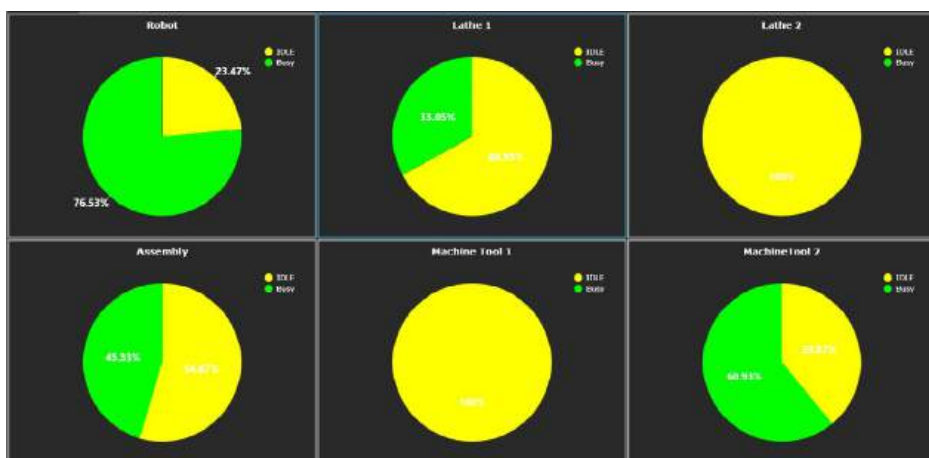
Simulointimallilla ajetaan kahden päivän tuotantoa vastaava aika (16 h). Resurssien käyttöasteet on esitetty kuvassa 4.



**KUVA 4.** Resurssien käyttöasteet ensimmäisessä simuloinnissa.

Kuvasta 4 nähdään, että työstökoneita palvelevan robotin käyttöaste on 100 prosenttia, ja se muodostuu tuotannon kapeikoksi. Robotin toimintavarmuus määrittelee tuotannon toimitusvarmuuden. Tämä on tyypillinen tilanne esimerkiksi korkeavaraston ympärille rakennetulle joustavalle valmistusjärjestelmälle, jossa esimerkiksi hyllystöhihsin vikaantuminen lamauttaa koko tuotannon. Työstökoneiden käyttöasteet ovat noin 20–36 prosenttia, ja suurin osa niiden ajasta kuluu robotin suorittaman kappaleiden siirron odotteluun. Erot sorvien ja koneistuskeskusten käyttöasteissa selittyvät sorvauksen 50 prosenttia lyhyemmällä ajalla. Tuotannon tahtiaika on 0,82 minuuttia (1,22 kpl/min).

Seuraavassa vaiheessa toinen koneistuskeskus ja sorvi poistetaan käytöstä estämällä kappaleiden siirrot niille. Kahden päivän tuotantoa vastaavasta simulointiajasta saadut resurssien käyttöasteet on esitetty kuvassa 5.



**KUVA 5.** Resurssien käyttöasteet toisessa simuloinnissa

Kuvasta viisi nähdään, että koneistuskeskuksen käyttöaste on noin 61 prosenttia, sorvin noin 33 prosenttia ja robotin noin 77 prosenttia. Samanaikaisesti kokoonpanon käyttöaste on laskenut noin kahdeksan prosenttia ensimmäiseen simulointiajooon verrattuna (53–45 %). Tuotannon tahtiaika on 0,96 minuuttia (1,04 kpl/min). Kahden vuorokauden tuotannon saannin muutos on noin -14,7 prosenttia, vaikka koneistuskapasiteetti on pudotettu puoleen.

Kolmannessa vaiheessa robotti korvataan operaattorilla, jonka tehtävänä on vaihtaa kappaleita työstökoneille sekä toimittaa koneistetut kappaleet kuljettimelle, joka siirtää ne kokoonpanoon. Koneistuksen kapasiteetti vastaa toista simulointia. Järjestelmän visuaalinen malli on esitetty kuvassa 6.



**KUVA 6.** Kolmannen vaiheen visuaalinen malli.

Kahden päivän tuotantoa vastaavasta simulointiajosta saadut resurssien käyttöasteet vastaavat työstökoneiden osalta edellistä tapausta (33–61 %) ja operaattorin käyttöaste vastaa edellisen tapauksen robotin käyttöastetta (n. 77 %). Kokoonpanon käyttöaste ja tuotannon tahtiaika ovat samoja kuin toisessa tapauksessa. Simulointimalli ei huomioi operaattorille kohdistuvia taukoja, joten käytännössä töiden järjestely tällä tavoin edellyttäisi varsinaisen operaattorin sijaistamista tai koneiden jättämistä odottamaan kappaleen vaihtoa operaattorin taukojen aikana. Jälkimmäisessä tapauksessa tahtiaika muuttuisi merkittävästi.

## JOHTOPÄÄTÖKSET

Nykyaikaisilla simulointiohjelmistoilla voidaan vertailla esimerkiksi erilaisia tuotannon operatiiviseen toimintaan tai tuotantojärjestelmiin liittyviä skenaarioita (teknologia, kapasiteetti, ajoitus, erä koko, layout ym.) ja niiden vaikutuksia esimerkiksi tuottavuuteen ja työn kuormittavuuteen nopeasti myös ilman varsinaista reaalijärjestelmää. Simulointimallien tuottaman tiedon käyttökelpoisuus on kuitenkin sidoksissa siihen, miten käytetyt lähtötiedot (mm. objektien välinen vuorovaikutus ja parametrit) ovat suhteessa vastaavaan reaalijärjestelmään. Kahden tai useamman skenaarion vertailuissa käytettävät yksinkertaistukset vaativat tarkkuutta simulointitulosten analyysivaiheessa. Lähtötietojen oikeellisuus korostuu, kun simuloinnilla halutaan saada vastaukseksi absoluuttisia tuotantoaikoja, -määriä ja -kustannuksia.

## LÄHTEET

Banks, J. Carson, J. Nelson, B. Nicol, D. Discrete-Event System Simulation. New Jersey: Pearson Education Inc., 2010.

Brailford, S. Churilov, L. Dangerfield, B. Discrete-Event Simulation and System Dynamics for Management Decision Making. Chichester: John Wiley & Sons, 2014.

Law, A. Simulation Modeling and Analysis, 4th ed. New York: McGraw-Hill, 2007.

Müller, B. Menn, J. Günther, S. "Procedure for experiential learning to conduct material flow simulation projects, enabled by learning factories." 7th conference on learning factories , CLF 2017. Darmstadt: Elsevier Procedia, 5. 4 2017.



# EXPERIENCES ON QUALITY ASSURANCE IN ERASMUS+ -PROJECT BIOECON

Pasi Pakkala & Vu Van Manh & Kevin Beiler

Value creation in sustainable forestry offers significant opportunities for global and local bioeconomy sectors. There is an eminent need for international, multidisciplinary M.Sc. programmes in Europe and Asia focusing on the combination of sustainable forestry and the bioeconomy (BioEcoN 2020).

The BioEcoN project established a Higher Education Institution (HEI) network of excellence for peer-to-peer learning and joint academic capacity building. Three European and three Vietnamese partners merged different perspectives and connected a variety of stakeholders to address evolving challenges in the forest-based bioeconomy sector (BioEcoN 2020).

The Erasmus + -BioEcoN project at a glance (BioEcoN 2020):

1. Funding Instrument: Erasmus+, Capacity Building in the Field of Higher Education.
2. The name of project: European – Vietnamese Higher Education Network for Sustainable Forestry and the Bioeconomy (ERASMUS+ EACEA Project KA2 - No 586183),”BioEcoN”.
3. Consortium Coordinator: The University of Sustainable Development Eberswalde (HNEE) ([www.hnee.de](http://www.hnee.de)), Germany. Contact persons were Project manager Prof. Jan-Peter Mund, Project co-coordinator Dr. Kevin Beiler (EU) and Project co-coordinator Prof. Vu Van Manh (VN).

The project consortium comprised six partners from Europe and Vietnam. The size of the group allowed for a diversity of perspectives while maintaining synergies regarding involvement in education on forest and environmental management. The variety of disciplinary backgrounds represented by experts from each university provides strong multidisciplinary capabilities to the consortium. The partners were The University of Sustainable Development Eberswalde, Germany; The South-Eastern Finland University of Applied Sciences Ltd. (XAMK); The Vietnam University of Science (VNU-HUS); The Vietnam National University of Forestry (VNUF); The Thai Nguyen University of Agriculture and Forestry (TUAF), Vietnam; The University of Valladolid, Spain. (BioEcoN 2020).

## IMPLEMENTATION OF THE PROJECT

The BioEcoN project developed innovative learning materials that offer students an international, multidisciplinary perspective on issues and topics of the forest-based bioeconomy. By implementing the project the participating universities modernised, renewed and aligned their curricula towards multidisciplinary skills and competencies and internationalised them permanently to compete on the international market of higher education (BioEcoN 2020).

The main outcomes of the project were syllabuses, and teaching and learning materials for 18 courses jointly developed by the partners. The project also brought about an increased capacity of faculty members trained in designing and developing the learning and teaching materials. Over 100 students from more than a dozen countries were trained in Vietnam and Spain during intensive learning periods (summer schools). In addition, an e-Learning platform was created containing all learning and teaching materials from the project for open and free access worldwide.

## AIM OF THIS ARTICLE

This article focuses on the quality assurance of the BioEcoN Erasmus + -project. It introduces and evaluates the quality assurance procedures during the implementation of the project. The actual collected quality assessment material plays only a minor role in the article.

## QUALITY ASSURANCE AS A TOOL FOR DEVELOPMENT QUALITY DEFINED IN THE PROJECT

In this project, quality was divided into: quality of the project work and quality of the teaching and learning. The quality of the project work refers to the experience of the teachers as the project participants. The quality of the teaching and learning consists of the students' and external evaluators' experience of the teaching and learning materials and the intensive learning periods.

Quality means all the features of a product or a service (e.g. project meetings, teaching or learning) that contributes to fulfilling the needs of a customer, e.g. a project's participant or a student. Service quality in general can be divided into technical and process quality (Grönroos 2015, 94–96). Technical quality refers to the physical execution and outcomes of the project, or the competences learnt in teaching. Process quality refers to how the teaching and learning is conducted, for example the pedagogical and didactic solutions and the teacher's ability to interact with students. This is all experienced through image and expectations. Image and expectations give a foundation from which we evaluate a service, in this case the project and teaching (Grönroos 2015, 98–99).

Barrett et al. (2006) recognised five dimensions of quality in education: effectiveness, efficiency, equality, relevance, and sustainability. In our case, quality was evaluated based primarily on relevance with regards to learning materials and the learning process. This was due to the limited time and composition of the intensive learning periods.

## CULTURAL FEATURES GUIDE EXPECTATIONS

Part of quality is universal and widely recognised. Quality can be identified and listed in relatively objective ways. In higher education the features of quality in teaching can be measured e.g. by the criteria and methods of evaluating learning, feedback given to the students, the student's feedback from teaching and guidance, feedback from the working life or follow up of the student's employment (Teaching Evaluation Matrix 2007).

Quality becomes a subjective experience when it is evaluated according to the customer's, in this case the participant's or student's, own needs, expectations and experiences. The customer, as well as the participant or student, has expectations about a service; in this case the project, teaching and learning. The teaching and learning as a service can be considered of high quality if meeting students' needs and learning objectives. Experience of quality can differ considerably between students or teachers. In international contexts, diverse cultural backgrounds can influence expectations – so the experience of teaching and learning can vary accordingly.

When interpreting this study and the results of quality assurance, the cultural differences have to be considered. Culture can be described in various ways. The culture can be defined according to time, place, area, national or subcultures. Culture can also refer to art or science. Cultural aspects affect the teacher's, student's or evaluator's expectations.

Culture includes information, knowledge, social interaction, cognition, language and behaviour. Most people are part of some kind of cultural hemisphere. (Reisinger & Turner, 2003, 10, 32) Cultural differences occur when two different cultures meet. The differences can be seen e.g. in values, attitudes, education, or communication. Behaviour in social interaction – how one is asking, joking, complaining or giving feedback – displays differences in culture (Reisinger & Turner, 2003, 18–20).

Organisations also have a distinguishable culture. Organisation culture can emerge organically or be directed by intervention (internal training or public image campaigns). But in any case – it exists. Even this Erasmus + - project has a culture of its own. Therefore, the international context of the consortium, and cultural differences specifically, must be taken into consideration.

Strictly speaking, culture is defined as the collective mental programming of the human mind, which distinguishes one group of people from another. This programming influences

patterns of thinking which are reflected in the meaning people attach to various aspects of life and which become crystallised in the institutions of a society. This does not imply that everyone in a given society is programmed in the same way; there are considerable differences between individuals. It may well be that the differences among individuals in one culture are bigger than the differences among all cultures (Hofstede-insights 2020).

## QUALITY ASSURANCE OF THE PROJECT

The cycle of continuous development was applied to the quality work of the project: PLAN–DO–CHECK–ACT. This is also known as the Deming cycle (Deming 1986). The quality system consisted of the planning and implementation of the Quality Plan, steering board decisions at the planning stage and subsequent management meetings, the core and support processes of the implementation stage (e.g. collection of the feedback, technical support of the on-line collection), the evaluation and development of the feedback system, plus the documentation and communication.

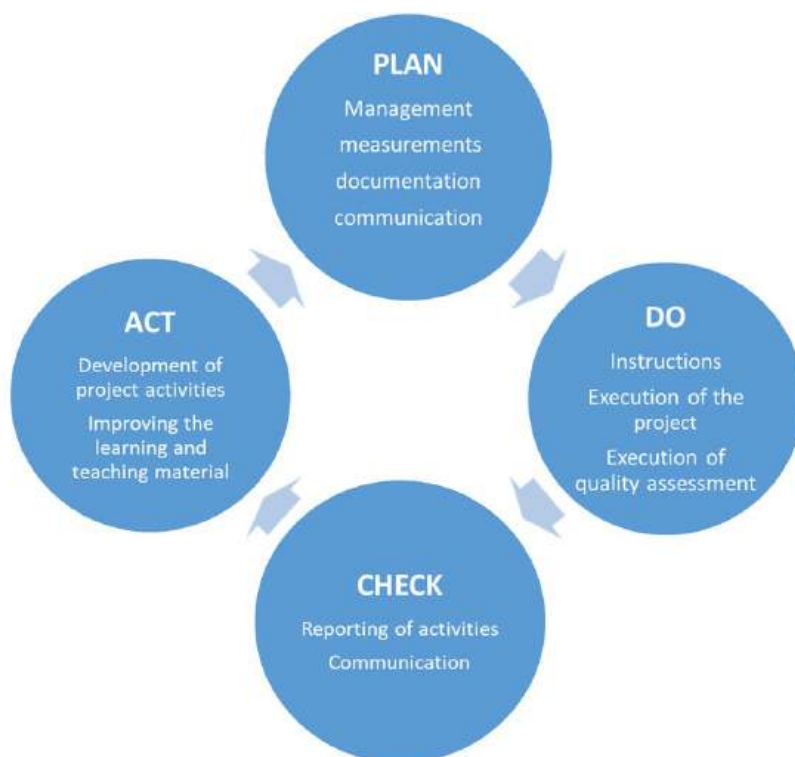
The cycle of the continuous development was interpreted in the following ways (Picture 1). The feedback process was an open system and all the results and summaries were introduced and discussed with project participants and relevant stakeholders (e.g., students). Revisions were made according to the feedback received.

PLAN – Evaluation is focused on meetings, pedagogical planning of curricula and syllabuses and creating the learning materials. It consisted of management, quality measurement of all actions, e.g. meetings, courses and learning material by peer to peer review, external evaluators, and students in summer schools (incl. course content and teaching), documentation and communication.

DO – The project execution, internal and external feedbacks and evaluations.

CHECK – This refers to the proper reporting of the activities, internal reviews (within university teams and peer-to-peer among project participants), stakeholder feedbacks (including students and external stakeholders and solicited through questionnaires, discovery meetings, learning labs, etc.), external expert evaluations, and analysis and discussion of the results.

ACT - Development of project procedures, improving and standardising teaching and lesson material, decision making in the steering board meetings and development of quality assurance actions of the project.



**PICTURE 1.** The cycle of the continuous development in the project.

## THE MAIN QUALITY ASSURANCE PROCEDURES IN THE PROJECT DISCOVERY EXERCISES

A project consortium was established with participants representing sustainable forestry, bioeconomy and related fields of expertise. One of the first joint activities of the project consortium was to evaluate the national bioeconomy development strategies of each partner country, as well as regional and international policies, to identify topics in sustainable forestry of relevance. Valuable feedback was also attained through the process of soliciting associated partners for the project.

A preliminary needs analysis was conducted during the project inception stage through consultation with experts in the forest-based bioeconomy sector, including academics, policy makers and working life professionals. Online surveys were used to solicit feedback on working-life needs (i.e., knowledge, skills & abilities), employment and policy trends within the sector. Where possible, online surveys were supplemented with learning labs, participation in workshops and conferences, and other means of direct stakeholder outreach at each project partner location. Such discovery activities continued throughout the project,

shifting from an initial needs analysis to feedback on the relevance of the course topics and curriculum structure under development (e.g., gap analysis).

## **CONSORTIUM MEETING FEEDBACKS**

During the first year and a half, the project meetings were the core of the project work. Therefore, the quality assurance work concentrated in the project meetings and the results achieved in these meetings. The feedback was requested immediately after each meeting through an anonymous online questionnaire.

The questionnaire was based on short and long-term impact indicators of the project proposal. There were two sets of the questions. In the first set the participants were asked to grade how the impact indicators were seen to develop during the meetings and in the second how the meeting itself was implemented. The participants were asked to answer online according to her/his opinion: 1 = fail, 2 = poor, 3 = not poor, not good, 4 = good, 5 = excellent. It was also possible to provide general comments or explanation of the rankings. The results were calculated using IBM Statistic SPSS 24 software.

The results can be considered reliable due to regular feedback collection, a high proportion of responses, and an unequivocal questionnaire. In addition, the dispersion of rankings (i.e. deviations from the mean ranking) were low.

Cumulatively, the feedback indicated the success of the project meetings according to the impact indicators selected during the project proposal stage. There was sufficient statistical power to make general inferences about aspects of the meetings which were perceived as particularly impactful (effective, relevant or valuable), or not, to participants.

The results were presented to the participants and discussed openly following each meeting. In addition, a summary of the first year meeting feedback was written and presented to the participants for discussion.

## **THE PEER-TO-PEER EVALUATION PROCESS**

The 4th consortium meeting in Thai Nguyen City, Vietnam, concentrated on the peer-to-peer review of the course materials. Peer-to-peer assessment was organised in two forms, written and group work. The participants were divided into review groups and asked to complete a written review of two courses developed by peers. During the meeting, the review groups gathered to review and discuss the syllabuses and learning material.

The peer-to-peer process provided a new perspective on the development of the study courses. Impressions came up that the teachers were not aware of before. Cultural differences were

minor, i.e. comments were focused directly to the point, which helps the improvement of the material. The opportunity to have insights from professors with different teaching traditions were considered valuable. Personal exchange was felt to be very good. The process had “a good flow”, and it was interesting to review materials prepared by colleagues. In numerous cases the peer-to-peer review process facilitated the coordination of joint development by identifying synergies and/or redundancies in course materials, driving a more interconnected collaboration overall.

Participant feedback on the peer-to-peer review experience highlighted the opportunity to work “face to face” as particularly effective. Both the written and the group work indicated constructive collaboration.

The special feedback of the peer-to-peer review process was collected. In addition, NPS-scores were asked: “If your colleague is planning a project and he asks: “Would you recommend peer-to-peer review as a part of the project?”. What would you answer: 0 = I would never recommend, 10 = I would absolutely recommend. The score was 54, of which 54 % were promoters and none being detractors, n = 13.

Among the drawbacks to this approach are the amount of resources required to organise in-person meetings, including financial costs incurred by the host and participants. The review process also requires a clear agenda and timetable, with instructions or guideposts for reviewers to achieve an appropriate level of detail in the review. It is easy to underestimate the amount of time required for an effective review session, so the timetable should accommodate this, yet be strictly enforced.

## THE MIDTERM SELF-EVALUATION

As the name suggests, the midterm self-evaluation was executed midway through year-2 of the project. The evaluation combined both quantitative and qualitative measures. The qualitative data was categorised and sorted into patterns by thematic analysis. Clear patterns emerged from this data, increasing the credibility of the qualitative measures. Data was collected anonymously by the Internet survey program Webropol.

There were three important things learned from the mid-term self-evaluation:

1. Joint development and peer-to-peer evaluation was highly valued.
2. International cooperation and networking, learning intercultural communication and academic cultures were considered valuable.
3. New teaching methods, didactics, syllabus and curriculum design were considered important.

In addition, project management was found to be transparent and any issues were addressed fairly and honestly. The level of communication from the coordinators, e.g., timeliness and the volume of emails received, and the frequency of the steering board meetings had been sufficient. Again, NPS-scores were asked: “If a colleague of yours asks whether she/he should get involved with a project like BioEcoN, how likely are you to recommend it to her/him?” What would you answer: 0 = I would never recommend, 10 = I would absolutely recommend.

## **STUDENT FEEDBACK AFTER INTENSIVE LEARNING PERIODS (ILP), OR “SUMMER SCHOOLS”**

The feedback was collected from the students after each of the two weeks comprising an intensive learning period. The questionnaire included seven “Likert scale” and three open questions. The feedback was collected anonymously via an online survey using Webropol software. Results were calculated using IBM SPSS Statistic 24 and MS Excel.

Statements concerning the overarching project objectives formed the basis of Likert scale questions:

1. The summer school has increased or reinforced my understanding of governance frameworks, innovative processes and products, and/or economics and markets in the field of sustainable forest-based bioeconomy.
2. The summer school has increased or reinforced my appreciation for international perspectives in sustainable forest-based bioeconomy.
3. The summer school has increased or reinforced my appreciation for foreign cultures.

There were four statements concerning the courses:

1. I understand the significance of the course topic and content in the frame of a forest-based bioeconomy.
2. The teaching approach and mode of delivery supported my learning.
3. The course met my expectations regarding learning goals.
4. The overall evaluation of the course.

Students were asked to respond according to the scale: 1- 5, 1 = strongly disagree, 2 = disagree, 3 = neither disagree nor agree, 4 = agree, 5 = strongly agree.

Students were also free to give feedback by filling in open questions:

1. Aspects of the summer school which are/were particularly effective or well implemented.
2. Suggestions for further development or improvement of the summer school.
3. What else would you like say about the summer school?



The collection of the feedback was successful. Almost all the students completed the questionnaires thoroughly, providing constructive feedback as well as useful summary statistics regarding their backgrounds. The grade of the overall evaluation of the courses varied from 2,9–4,6. In addition, the written arguments of the students supported the teacher's work well.

The cultural differences could only be calculated from the feedback data of the students. Even though Hofstede (2020) indicated differences between nationalities, the results between European and Vietnamese students were contradictory. The Vietnamese students were clearly more satisfied with the first intensive learning period in Hanoi when compared with the European students. At the second intensive learning period, the origin of the students did not show a significant difference in the results.

## EXTERNAL EVALUATIONS

Six experts in the field of forest-based bioeconomy with no relation to the project were solicited to evaluate the curriculum and learning materials. Evaluators were chosen with expertise beyond the level of, or the geo-political region represented by, the project participants. External evaluation was divided into three steps or feedback loops implemented in tandem by EU and VN experts.

The external reviewers provided valuable insights during the development process - both through statements of support and constructive criticism. For example, the international and interdisciplinary perspective of the BioEcoN learning materials, as well as the balance of practical training and theory, were highlighted as strengths of the curriculum (Väkevä 2018). In addition, the courses introduced novel teaching methods lacking in a partner's domestic programmes (Nguyen Trung Dung 2019). On the other hand, the breadth of topics addressed by the materials tended to create fragmentation between the courses, which the consortium then sought to address with a refined conceptual framework (Engler 2020). Authors were encouraged to place more emphasis on socio-economic issues (e.g., community, ethnic and gender issues, rural development) and acknowledge the value of local knowledge. It was also suggested to organise seminars to exchange particularly novel teaching methods between teachers and experts (Dang Tung Hoa 2020).

Each course feedback started with a course description, mainly introducing the objectives and content of the course. Comments included clearly stated deficiencies, good examples, feedback with previous comments, further suggestions for improvement and additional comments. At the end of course evaluation the evaluator gave through feedback concerning the main findings. All together 32 page and 22 page long evaluation reports were delivered to the teachers (Väkevä 2018, Nguyen Trung Dung 2019, Dang Tung Hoa 2020, Engler 2020).

The Workshops and Training on internal quality assurance, curriculum development and programme accreditation and external quality assurance were held in Vietnam for the partner universities. The goal was to familiarise the academic and administrative staff at the three Vietnamese partner universities as well as the other project partners responsible for programme development and quality assurance. It covered the central elements of internal quality assurance, development of degree programmes as well as subsequent self-evaluation processes and programme accreditation. It incorporated comparisons to Vietnamese and international standards and procedures to help support bilateral recognition of course credits in general and the establishment of dual/joint degree programmes between the BioEcoN partner universities specifically. The BioEcoN curriculum was to be used as reference material for self-evaluation and to help standardise student work hours, etc. across BioEcoN courses.

## **EXPERIENCES OF QUALITY ASSURANCE – DISCUSSION QUALITY ASSURANCE GAVE ENOUGH INFORMATION**

The quality assurance system Erasmus +-project BioEcoN gave enough information to direct the implementation of the project. The cycle of continuous development was applied to the quality work of the project: PLAN– DO– CHECK – ACT. The quality system consisted of the planning and implementation of the quality management, collection of the feedback, technical support of the on-line collection, documentation and communication. Within the P-D-C-A framework, well established quality assurance techniques such as Needs Analysis or Gap Analysis were complimented with techniques novel to some participants in the context of curriculum development, such as peer-to-peer review and self-evaluation of performance. Communication included introducing and discussing the results.

The feedback data was collected via online surveys. There are many things affecting the reliability of surveys: the content of the surveys, statistical, cultural, linguistic and technical features (Vehkalahti 2014). The biggest uncertainties are in cultural and linguistic aspects. Interviews would have increased the reliability and given valuable data to reinforce the results of the online data, providing accountability but at the expense of anonymity.

Quality is experienced through image and expectations. Image and expectations give a foundation from which we evaluate a service, in this case the project and teaching (Grönroos 2015). The expectations were not surveyed before executing the quality assessment; this problem was solved by allowing students and other participants' ample opportunities to provide formal and informal feedback.

Although the quality assurance as executed gave enough information, the main challenge lies in the ACT-part of the cycle: Improving courses and teaching materials, decision making in the steering board meetings and development of the quality assurance actions of the project. How can the collected quality information be used more efficiently? How can the

steering board and project managers from each partner institution engage participants and hold them accountable to the quality standards? The surveys indicate no significant cultural differences, but there could have been better understanding and discussion concerning quality assurance and its role at the beginning of the project.

## STUDENTS' OPINION COUNTS

The main target group of the project is of course the students. Quality of a particular service is whatever the customer perceives it to be (Grönroos 2015). The compact on-line survey proved to be a good way to collect the feedback data from intensive learning periods. Survey questions were effective for soliciting feedback on the course material and the cohesiveness of the curriculum, and the relations between these perceptions and the student background.

Unfortunately, because of the timetable, the open feedback discussions between the teacher and the students were partly missed. It would be ideal if such a discussion could be arranged after each course. It would fill in the possible blanks in the written feedback and increase openness in developing education.

In general, the students were satisfied with the teaching and arrangements in the intensive learning periods. The problem is again the ACTing. How the teachers utilise the feedback? Here, a timely and open discussion on the feedback between teachers and students is critical. Also, in this kind of project teachers miss the opportunity to discuss the feedback with colleagues or a supervisor, e.g. dean or pedagogical dean. Development discussions or performance appraisals are commonly used in academia, and can be an effective means for processing -and ACTing on- student feedback.

## EXTERNAL AND PEER-TO-PEER EVALUATIONS WERE VALUABLE

External evaluation is a valuable part of quality assurance. Often, the main challenge of external evaluation is culture-based: concepts of learning, education, forest, forestry, forestry-based bioeconomy or job market and a fit-for-job professional can differ considerably between project members, institutions or nations. This complicated cooking is viewed through the expectations of the evaluator and as well as the feedback is interpreted by the evaluated teachers. A broader perspective was gained by selecting evaluators having different “stakes” professionally, for example from academia, public service or business life.

Evaluation of teaching has been mostly done by evaluating material which is available on a website. Could an external evaluation be executed live or by interviewing? In such a case the evaluation is a mix of peer-to-peer and external evaluation. The evaluation would be more like a discussion between or counsel provided by an evaluator to a project member.

An especially good procedure was the peer-to-peer evaluation. The peer-to-peer evaluation was widely accepted, useful and practical. It gave honest and direct feedback and reinforced the team-spirit in the project.

## **SELF-DIRECTION CAN'T BE TRUSTED**

Quality assurance systems and a quality culture are part of modern higher education (e.g. Xamk 2020). Teachers are now used to taking part in accreditations, evaluations, surveys and other quality management procedures. But, there are different attitudes towards the information that quality assurance delivers.

In project or matrix organisations the management has usually only weak possibilities to direct the participant. In such occasions, problems can occur through unclear responsibilities and roles together with primary work in the home organisation (Turunen 2015). Could there be found any way that the project management and the steering board could direct the participants better?

## **CULTURAL DIFFERENCES WERE NOT SIGNIFICANT IN THE FEEDBACK DATA**

Even though Hofstede-insights (2020) recognises cultural differences between partner countries, there were no significant indication of differences in the feedback from the project participants. The project group of 18 university teachers gave quite homogeneous feedback during the project. Is it professional or cultural politeness? Regardless, the quality assurance in this project is dependable on collected data. In general, the dispersion in feedbacks was so low that there cannot be significant differences in the opinions based on the origin of the teachers, although the sample size is insufficient for statistical comparison. The cultural differences could only be calculated from the feedback data of the students. The results between European and Vietnamese students were contradictory.

## REFERENCES

Barratt A., Chawla-Duggan R., Lowe J., Nikel J., Ukpo E. 2006. The concept of quality in education: a review of the 'international' literature on the concept of quality in education. University of Bristol. EdQual Working Papers 3.

BioEcoN 2020. BioEcoN – European-Vietnamese Higher Education Network for Sustainable Forest- and Bioeconomy. WWW-document. Available: <http://bioecon.eu/163/> [Referred to 28.5.2020].

Dang Tung Hoa. Evaluation Report. Pdf 5.2.2020

Deming, W. E. (1986). Out of the crisis. Cambridge, MA: Massachusetts Institute of Technology, Center for Advanced Engineering Study. p. 88

Engler B. 2020. Evaluation notes. Pdf 31.1.2020.

Grönroos C. 2015. Service management and marketing. 4th edition. Wiley.

Hofstede G. 2020. Geert Hofstede. WWW-document. Available: <https://geerthofstede.com/> [Referred to 11.8.2020]

Hofstede-insights 2020. WWW-document. Available: [www.hofstede-insights.com/](http://www.hofstede-insights.com/) [Referred to 11.8.2020].

Nguyen Trung Dung 2019, Evaluation Report. Pdf 13.5.2019.

Reisinger Y. and Turner L.W. 2003. Cross-cultural behaviour in tourism: concepts and analysis. Butterworth Heinemann, Oxford, 2003.

Teaching Evaluation Matrix. 2007. University of Helsinki. Administrative Publications 44 Directories and handbooks. WWW-document. Available: [www.helsinki.fi/julkaisut/aineisto/hallinnon\\_julkaisuja\\_44\\_2007.pdf](http://www.helsinki.fi/julkaisut/aineisto/hallinnon_julkaisuja_44_2007.pdf) [Referred to 28.5.2020].

Turunen, R. 2015. Matriisiorganisaation vaikutukset johtamiseen Maanpuolustuskorkeakoulussa. Maanpuolustuskorkeakoulu. Johtaminen. Sotatieteiden maisteriopiskelijan pro gradu.

Vehkalahti K. 2014. Kyselytutkimuksen mittarit ja menetelmät. Helsingin yliopisto. PDF document. Referred to 17.8.2020.

Väkevä J. 2018. Evaluation report: BioEcoN curriculum modules - European-Vietnamese Higher Education Network for Sustainable Forest- and Bio-Economy. Pdf-document. Referred to 31.12.2018.

Xamk 2020. QUALITY AND ASSESSMENT. WWW-document. Available: <https://www.xamk.fi/en/xamk2/quality-and-evaluation/> [Referred to 5.6.2020].

# FLOKKIEN KUVAAMISESTA UUSI ONLINE-MONITOROINTI- MENETELMÄ JUOMAVEDEN VALMISTUSPROSESSIIN PINTA- VEDESTÄ

Tatu Kauppi & Tero Ojanen & Yrjö Hiltunen

Flokkulaatioprosessi on tärkeä osa juomaveden valmistusprosessia pintavesilaitoksissa. Flokkulaatioprosessissa pintaveteen lisätään kemikaalia, jonka seurauksena veden humus kimpuntuu flokeiksi, jotka voidaan erotella vedestä erilaisilla jatkoprosesseilla, kuten flotaatiolla tai laskeutuksella. Flokkien fysikaalisilla, kemiallisilla, morfologisilla ja mikrobiologisilla ominaisuuksilla on merkittävä osa jatkoprosessien onnistumiseen. Flokkauskemikaaleilla, pH-arvolla sekä sekoituksella taas on merkittävä osuus flokkien muodostumiseen. Lisäksi flokkulaatioprosessiin vaikuttaa myös muun muassa veden lämpötila sekä vuodenajan vaihtelut. (Huoltovarmuuskeskus 2020)

Flokkulaation online-monitorointi on ollut haasteellista. Kuva-analyysi on yksi keino prosessin seuraamiseen. Kuva-analyysimenetelmässä flokkeja kuvataan kameralla ja kuva-analyysin perusteella voidaan tarkastella flokkien fysikaalisia ominaisuuksia, kuten kokoa ja muotoa, ja sitä kautta monitoroida prosessin toimivuutta. Flokkulaation online-monitorointi voisi tuottaa vesilaitoksille huomattavia säästöjä kemikaalien optimoinnissa sekä parantaa lopputuotteen eli juomaveden laatua.

Tässä artikkelissa esitellään flokkien kuvaamisessa käytettyä laitteistoa sekä flokkien analysointia. Kehitystyö on tehty Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulun Kuitulaboratorion ”HUVA – Humuspitoiset pintavedet juomaveden valmistuksessa” -hankkeessa, jonka päärahoitus tulee Etelä-Savon Ely-keskuksen Euroopan aluekehitysrahastosta.

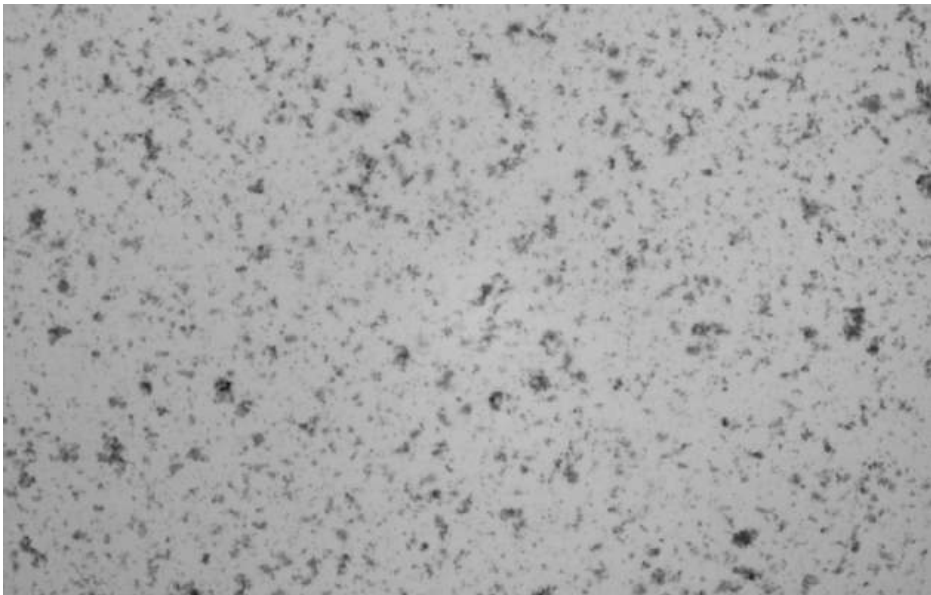
## KUVAUSLAITTEISTO

HUVA-hankkeella on käytössä kaksi kameralaitteistoa, joista toinen on lainassa Valmet Automationsilta (kuva 1) ja toinen on hankittu Pixact Oy:ltä (kuva 1).



**KUVA 1.** Vasemmalla Pixactin kamerajärjestelmä. Oikealla Valmetin kamerajärjestelmä (kuvat Tatu Kauppi).

Kameralaitteistot toimivat samalla periaatteella: flokkivesi imetään pumpulla kyvetin läpi, jonka toisella puolella on valo ja toisella puolella kamera. Näin ollen flokit erottuvat tummina kappaleina vaaleaa taustaa vasten (kuva 2).



**KUVA 2.** Valmet Automationsin kameras ottama kuva flokkipitoisesta vedestä (kuva Tatu Kauppi).



Valmetin toimittamaan kameralaitteistoon kuuluu vain kamera/kyvetti/valo-kokonaisuus, kun taas Pixactin laitteistosta löytyy edellä mainittujen lisäksi PC, jossa on online-analyysiohjelmisto, sekä paineilmalla toimivat automaatioventtiilit. Pixactin kameran resoluutio on 2448 x 2048 pikseliä, pikselin koko 3,45 µm x 3,45 µm ja kuvausalueen koko 8,45 mm x 7,07 mm. Valmetin kameran resoluutio on 1392 x 1040 pikseliä, pikselin koko 3,3 µm x 3,3 µm ja kuvausalueen koko 4,59 mm x 3,43 mm. Pixactin kamerajärjestelmää ohjataan kamerajärjestelmän omalla Beckhoffin valmistamalla teollisuus-PC:llä ja Pixactin tuottamalla ohjelmistolla. Valmetin kamera toimii Baslerin ohjelmistolla, jota ohjataan tavallisella kannettavalla tietokoneella. Molemmat koneet sisältävät langattoman mobiiliverkon, jonka avulla tiedonsiirto voidaan tehdä langattomasti, ja molemmat laitteistot ovat täysin etäohjattavissa.

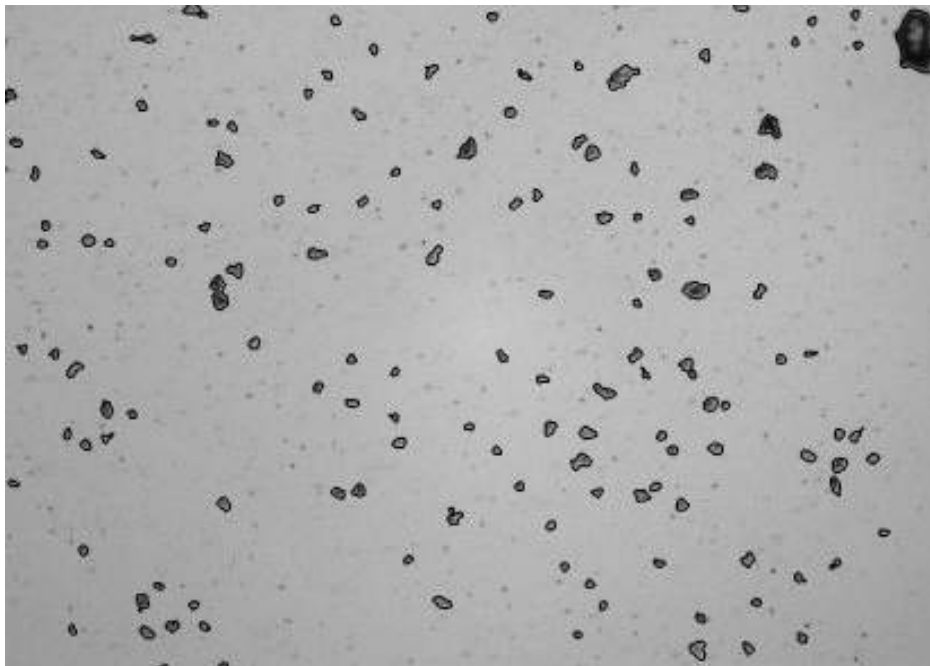
Etäohjausjärjestelmä on asennettu käynnistymään automaattisesti koneen käynnistyessä, mikä mahdollistaa kummankin järjestelmän uudelleen käynnistyksen ongelmatilanteissa. Kummassakin järjestelmässä kuvien tallennustilana on 4,2 teratavun ulkoinen kiintolevy. Koska kamerajärjestelmät tuottavat erittäin suuren määrän kuvia, niitä ei kannata lähettää, vaan tavoitteena on analysoida kuvat kuvauslaitteistolla ja ainoastaan analyysitulokset kerätään verkon välityksellä laitteistoilta.

Pumppujärjestelmää ja venttiileitä ohjataan Arduino Nano -logiikkapiirillä. Logiikkapiiri on kytketty USB-yhteydellä Valmetin kameraa ohjaavaan kannettavaan tietokoneeseen, jolloin logiikkapiiriin ohjelmistolle on mahdollista tehdä muutoksia myös etäyhteyden välityksellä. Näytteen syötön ollessa pysähdyksissä voidaan avata pesuveden venttiilit, jotta linssien likaantuminen saadaan minimoitua. Venttiilien avautuminen ja sulkeutuminen sekä pumpun käynnistyminen ja pysähtyminen voidaan ajastaa viiveajoilla niin, että pesuvettä ei missään olosuhteissa voi päätyä takaisin näytteenottoaltaaseen. Näytteenoton alkaessa kuitenkin kamerajärjestelmässä on aina hieman pesuvettä jäljellä ennen kuin se korvaantuu näytteellä, joten tämä täytyy ottaa huomioon, kun lasketaan todellisen näytteen kuvausaikaa. Myöskin näytteen pumppauksen alku- ja loppuvaiheessa näytettä sekoittuu pesuvedeen, joten kuvausjakson ensimmäiset ja viimeiset kuvat eivät ole vertailukelpoisia. Vesilaitoksilla prosessien muutokset ovat yleensä kovin hitaita, joten kuvausjaksoja ei tarvitse tehdä kovinkaan useasti, vaan flokkeja voidaan kuvata esimerkiksi noin puolen tunnin välein.

Flokkivedellä on taipumusta liata järjestelmät ja kameroiden linssit, vaikka sekvenssistä suurin osa on puhdistusveden läpijuoksutusta. Veden juoksutuksesta huolimatta ollaan havaittu, että laadukkaiden kuvien saamiseksi olisi kameroiden linssit puhdistettava noin kerran viikossa, sillä linssien likaannuttua suuremmassa määrin kerran tarttuvat partikkelit myöhemmin helpommin linssiin jääviin epäpuhtauksiin.

## KUVIEN ANALYSOINTI

Molempien kuvauslaitteistojen analysointi tapahtuu samalla periaatteella. Analyysiohjelma tunnistaa flokkikuvista flokit (kuva 3) tiettyjen kriteerien mukaan ja laskee sen perusteella erilaisia tunnuslukuja.



**KUVA 3.** Valmet Automationsin kameran ottama kuva flokkivedestä, josta analyysiohjelma on tunnistanut flokit ja ympyröinyt ne (kuva Yrjö Hiltunen).

Tärkeimpiä tunnuslukuja ovat partikkelien määrä kuvassa, konsentraatio, partikkelin keskimääräinen halkaisija ja pinta-ala, partikkelittomien kuvien määrä näytteessä, linssien likaantumisaste sekä partikkelien keskimääräinen pyöreys.

HUVA-hankkeen tavoitteena on kehittää jatkuvatoiminen online-analyysikuvauslaitteisto. Tällä hetkellä kuitenkin molemmat kuvauslaitteistot eivät tähän pysty. Kamera- ja pumppausjärjestelmien teknisten rajoitteiden vuoksi molemmat järjestelmät kuvaavat myös pesuveden kierrätyksen aikana. Pesuvedestä otetut kuvat voidaan poistaa automaattisesti ja esimerkiksi Pixactin järjestelmän kuvat on mahdollista siivota tyhjästä kuvista tiedostojen koon perusteella, sillä flokkeja sisältävät kuvat olivat kooltaan suurempia. Pixactin järjestelmässä analysoitavista kuvista tehtiin analyysiä varten kopiot paikallisesti. Vielä tällä hetkellä Valmetin tuottamat kuvat siirretään etäyhteydellä, siivotaan ja pakataan analyysiä varten. Tavoitteena on kehittää molempiin laitteistoihin automaattinen online-analyysi. Molemissa järjestelmissä paikalliselle ulkoiselle kovalevylle jäivät varmuuskopiot raakakuvista.

Pixactin järjestelmän ohjelmistolla olisi mahdollista tehdä myös online-analyysiä, mutta pesuveden kierrätyksen ja kuvien ottamiseen liittyvien haasteiden vuoksi analysoidaan Pixactin järjestelmän ottamat kuvat online-analyysiä vastaavasti toimivalla offline-ohjelmistolla jälkikäteen. Molemmat ohjelmistot tuottivat Excel-tiedoston analysoitavan kansion kuvista, jolloin datan jatkokäsittely on mahdollisimman helppoa.

## YHTEENVETO

Flokkien kuvaaminen pintavesilaitosten flokkulaatioprosessissa on lupaava uusi online-monitorointimenetelmä. Tällä hetkellä HUVA-hankkeen kuvauslaitteistoilla on mahdollista monitoroida flokkausprosessia offline-analyseillä ja osin jopa online. Tulevaisuudessa menetelmällä on potentiaalia kehittyä online-monitorointityökaluksi ja täysin automaattiseksi osaksi flokkausprosessin ohjausta.

## LÄHTEET

Huoltovarmuuskeskus, 2020, Kemiällisen saostuksen huoltovarmuuden parantaminen Suomen vesihuollossa, Hankkeen ”Vaihtoehtoiset vedenkäsittelymenetelmät rautapohjaisille saostuskemikaaleille Suomessa” -raportti, Helsinki.

# FLOKKIEN OMINAISUUKSIEN VAIKUTUS FLOKKULAATIO- PROSESSIN TOIMIVUUTEEN

Tatu Kauppi & Tero Ojanen & Yrjö Hiltunen

Kuitulaboratorion ”HUVA – Humuspitoiset pintavedet juomaveden valmistuksessa” -hankkeen tavoitteena on kehittää online-monitorointimenetelmää pintavesilaitoksien flokkulaatioprosessiin. Menetelmä perustuu flokkien kuvaamiseen ja flokkien fysikaalisten ja morfologisten ominaisuuksien tarkasteluun. Kuvauskokeita on tarkoitettu tehdä vesilaitoksilla. Sitä ennen kuitenkin tehtiin pilottikuvausjakso Savonia ammattikorkeakoulun vesilaboratoriossa Kuopiossa. Pilottikuvausjaksolla saatiin arvokasta lisätietoa prosessimuutosten vaikutuksesta flokkeihin. Tätä informaatiota voidaan käyttää tulevaisuuden kuvausjaksoissa. Pilottikokeet toimivat myös kuvauslaitteistojen testialustana, ja kokeiden avulla kuvauslaitteistoista saatiin kehitettyä täysin etäohjattavia. Pilottikokeet suoritettiin Savonia ammattikorkeakoulun pilottilaitteistolla, johon oli kytketty kaksi kuvausjärjestelmää. HUVA-hankkeen päärahoitus tulee Etelä-Savon ELY-keskuksen Euroopan aluekehitysrahastosta.

## PILOTTILAITTEISTO

Savonian pilottilaitteiston (kuva 1) periaate oli samanlainen kuin oikean pintavesilaitoksen.



**KUVA 1.** Savonian pilottivesilaitos (kuva Tatu Kauppi).

Ainoa ero hankkeessa mukana oleviin Savonlinnan ja Kuopion veden laitoksiin on, että tässä laitteistossa selkeytys tapahtui laskeutuksella flotaation sijaan. Laitteisto koostui sekoitus- ja hämmennysaltaista sekä selkeytysaltaasta. Laitteistossa oli mahdollisuus säätää flokkauskemikaalin määrää sekä pH:n säätöön tarkoitettua kalkkiveden määrää. Pilottilaitteiston virtaukset pyrittiin asettamaan vesilaitosten vastaaviksi, mutta pienemmässä mittakaavassa, jolloin hämmennysaltaiden veden viipymä oli noin yksi tunti. Laitteistossa olisi ollut myös valmius hiekkasuodatukselle, mutta sitä ei tässä kokeessa tarvittu. Pilottilaitteiston läpivirtauma tunnissa oli noin viisi litraa.

## **SAMEUSMITTARI**

Testeissä käytetty sameusmittari oli Observatorin NEP-5000 high-end Turbidity sensor, joka oli liitetty akulla toimivaan dataloggeriin. Loggerin tiedot luettiin Valmetin kameran PC:ltä, jolloin loggeria oli mahdollista lukea myös etäyhteyden välityksellä. Mittari oli kalibroitu tehtaalla ja sen tulosten oikeellisuus tarkistettiin vertaamalla tuloksia Savonia laboratorion tuloksiin. Sameusmittari teki mittaukset viidentoista minuutin välein alkaen tasatunnein. Loggerin tallentama data oli mahdollista ladata CSV-tiedostomuodossa.

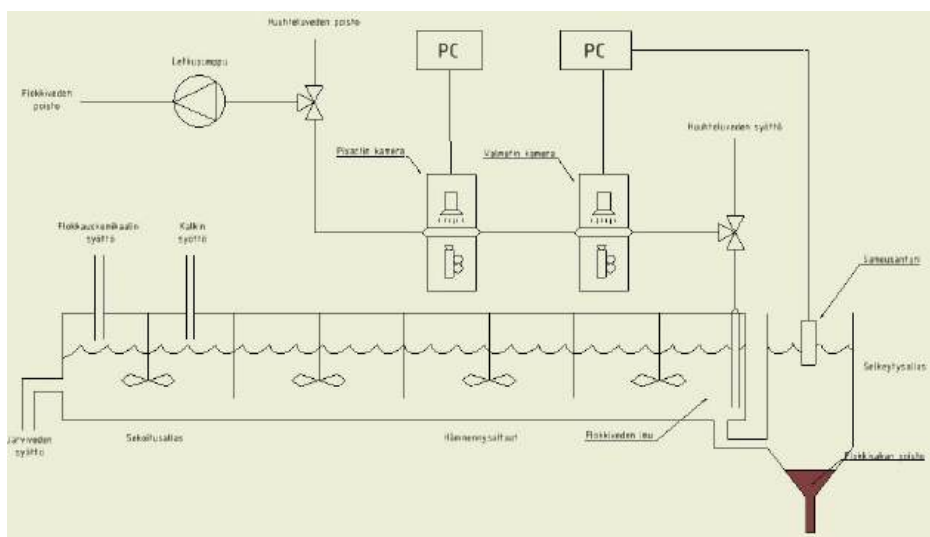
## **KAMERALAITTEISTO**

Kuvausteesteissä käytettiin Valmet Automationsin sekä Pixactin flokkikuvauslaitteistoja. Kuvauslaitteistot kuvasivat jatkuvasti, mutta suurimman osan ajasta kameroiden läpi virtasi pesulinja. Laitteistojen kuvaamat kuvat lähetettiin mobiiliverkon avulla operaattorin PC:lle, jossa kuvat analysoitiin analyysiohjelmilla.

## **LAITTEISTOKOKONAISUUS**

Pilottilaitteisto, sameusmittari sekä kameralaitteistot koostettiin kuvan 2 mukaiseksi kokonaisuudeksi.

Varsinaista pilottilaitteistoa hallittiin paikan päällä, ja sen suorittivat Savonian henkilökunta. Kuvauslaitteistoa venttiileineen sekä sameusmittaria hallittiin etäyhteyksillä Savonlinnasta käsin.



**KUVA 2.** Kaaviokuva Savonian pilottilaitteiston testeistä (kuva Tatu Kauppi).

## KOESUUNNITELMA

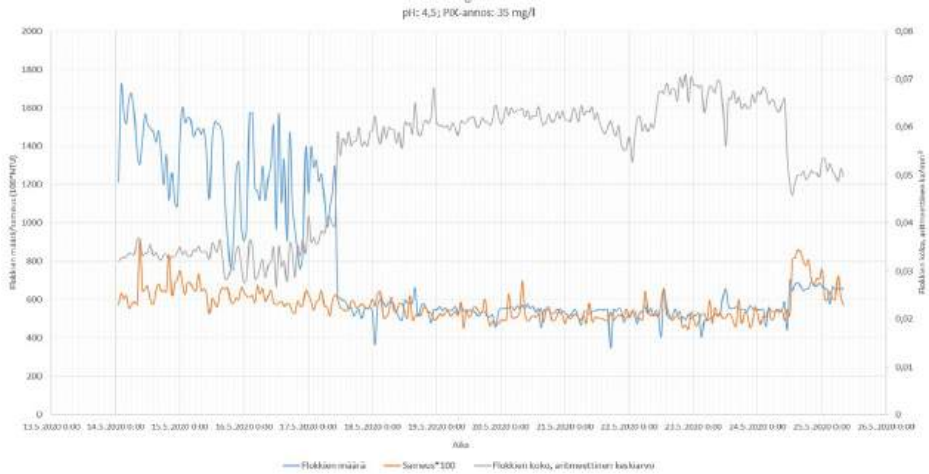
Koejaksolla tutkittiin flokkauskemikaalin määrän ja pH-arvon vaikutusta flokkien ominaisuuksiin sekä prosessin toimivuuteen. Prosessin toimivuutta arvioitiin selkeytykseltään sameusarvojen perusteella. Prosessivetenä toimi Kallaveden käsittelemätön pintavesi. Flokkauskemikaalina käytettiin ferrisulfaattia ja pH:n säätö tehtiin kalkkivedellä.

Kokeet jakaantuivat kolmelle viikolle, joista ensimmäisellä viikolla prosessi pidettiin oletetuilla optimiasetuksilla. Toisella viikolla prosessiin tehtiin muutoksia kalkkiveden syöttöön, jolloin pystyttiin muuttamaan prosessin pH-arvoa ja tarkastelemaan sen vaikutusta flokkeihin. Kolmannella viikolla prosessiin tehtiin muutoksia flokkauskemikaalin määrään, jolloin voitiin tarkastella kemikaalin vaikutusta flokkeihin.

## TULOKSET

Prosessin ajo oletetuilla parhailla vakio-olosuhteilla (14.5.–25.5.)

Kuvausjakson ensimmäiset päivät flokkausprosessissa suoritettiin oletetuilla parhailla parametreilla pH-arvon sekä flokkauskemikaalin annostelun suhteen. Prosessi ei ollut heti käynnistettäessä stabiili, vaan se tasaantui vasta reilun kolmen päivän kuluessa, minkä huomasi helposti flokkien ominaisuuksista (kuva 3).

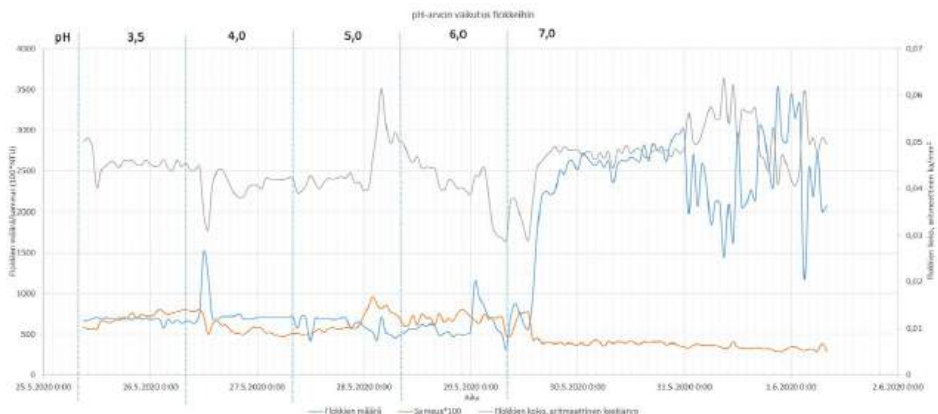


**KUVA 3.** Flokkien ominaisuuksia sekä selkeytetyn veden sameus oletetuilla parhailla ajoparametreilla.

Flokkien koko sekä määrä pysyivät melko tasaisen vakioina, kun prosessiparametreja ei muutettu. Ainoa poikkeus tapahtui 24.5. noin klo 12, jolloin prosessissa tapahtui selkeästi jotain. Tämä voitiin todentaa myös sameuden kasvusta, jonka takia muutos on todella tapahtunut prosessissa eikä kuvauslaitteistossa. Flokkien koko ja määrä seurasivat toisiaan käänteisesti, mikä vaikuttaa järkevältä.

## PH-ARVON VAIKUTUS FLOKKEIHIN (25.5.–1.6.)

Kuvausjakson toisella täydellä viikolla prosessiin tehtiin muutoksia kalkin syöttöön, jolloin prosessoitavan veden pH-arvo muuttui. Prosessimuutoksilla saatiin näkyviä muutoksia flokkien ominaisuuksiin (kuva 4).

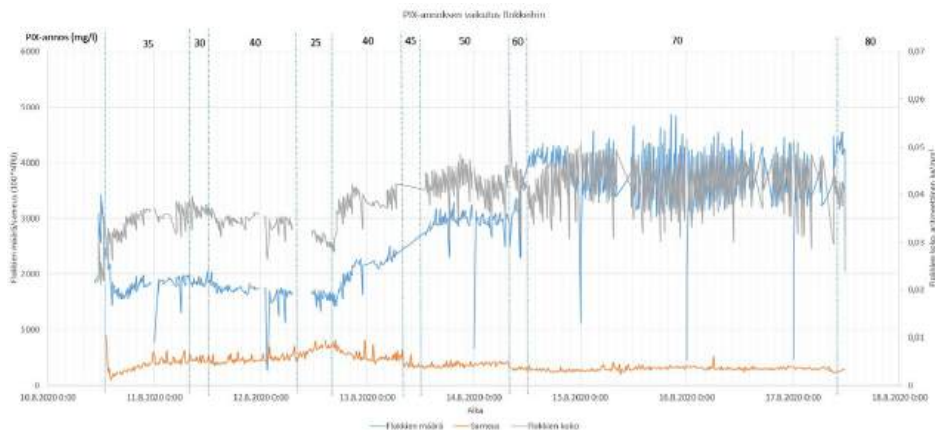


**KUVA 4.** pH-arvon muutoksien vaikutus flokkeihin.

pH-arvon muutokset saivat aikaan muutoksia myös flokkien koossa sekä määrissä. Huomattavimmat piikit todennäköisesti johtuvat jostakin häiriöstä prosessissa, sillä jokainen seurattu arvo teki poikkeaman samaan aikaan. Kuvaajasta huomataan se, että sameus ja flokkien koko muuttuvat samalla tavalla, mikä indikoi siitä, että mahdollisimman suurella flokilla tulee puhtainta vettä. Tässä laitteistossa selkeytys tehtiin flokin laskeutuksella, jolloin suuri flokin hyöty on ilmeinen. Mahdollisimman suuri flokki taas ei välttämättä ole paras flotaatiomenetelmään, jossa flokin tulisi nousta pintaan dispersion avulla. Tässä tapauksessa flokin ominaisuudet alkavat heiketä, kun veden pH-arvo nousee yli viiden. pH-arvon noustessa lukuun seitsemän kalkin syöttöön tuli häiriö, joka voitiin helposti nähdä kuvaajassa ajassa 29.5. klo 14.

## FLOKKAUSKEMIKAALIN MÄÄRÄN VAIKUTUS FLOKKEIHIN (7.8.–17.8.)

Kuvausjakson kolmannella täydellä viikolla prosessiin tehtiin muutoksia flokkaukskemikaalin syötön määrään. Prosessimuutoksella saatiin näkyviä muutoksia flokkien muodostumiseen (kuva 5).



**KUVA 5.** PIX-kemikaalin määrän vaikutus flokkeihin.

Kuvasta huomataan, että mitä suurempi kemikaaliannos on ollut, sitä suurempia flokkeja syntyy ja aikaisemmin mainittujen syiden takia myös selkeyttimessä oleva vesi on kirkkaampaa. Tässäkin tapauksessa veden sameus ja flokkien koko muuttuivat samanaikaisesti. Kemikaalisyötön ollessa minimissään 25 mg/l flokkien koko alkoi laskea selvästi. Kemikaalimäärän ollessa vähintään 50 mg/l flokkien koko ei kasvanut enää mainittavasti.



## YHTEENVETO

Tulokset olivat ennalta odotettavia, joskaan eivät yhtä yksiselitteisiä, mitä oli oletettavissa. Flokkien koko ja määrä seurasivat toisiaan siten, että flokkien kasvaessa niiden määrä väheni. Flokkien koko seurasi myös selkeytysaltaan veden sameutta, eli kun flokkien koko kasvoi, veden sameus laski. Tämän uskoimme johtuvan siitä, että tässä laitteistossa oleva selkeytysallas toimi flokkien laskeutuksella flotaation sijaan.

Pilottilaitteistolla tapahtui odottamattomia prosessimuutoksia, joihin ei saatu selkeää vastausta. Voi olla, että pilottilaitte on liian pieni kyseisen tyyppiin kokeisiin. Koska flokkauksemikaalin syöttestä ja kalkkiveden syötöstä ei ollut tarkkaa lokia olemassa, ei-halutut prosessimuutokset saattoivat jäädä tämän vuoksi mysteereiksi.

Kaiken kaikkiaan koejärjestely osoittautui toimivaksi, joskin erilaisella selkeytysratkaisulla tulokset voisivat olla erilaisia. Tästä syystä tuloksia ei voi suoraan verrata todellisiin vesilaitoksiin. Koejärjestelyissä huomattiin myös, että laitteistot toimivat erinomaisesti myös etäyhteyksillä, mikä on erittäin hyödyllinen tieto vesilaitoksien demonstraatiokokeita suunniteltaessa.

# REFRAKTOMETRIN HYÖDYNTÄMINEN PESULINJAN OPTIMOINNISSA

Riku Kopra & Simo Karjalainen & Keijo Pyörälä

Kuitulaboratoriolla on tutkittu jo vuosia sellutehtaan kuitulinjalla tapahtuvaa ruskean massan pesua. Sellun pesussa poistetaan massasulputa nestefaasiin epäpuhtaudet mahdollisimman tehokkaasti ennen seuraavia prosessivaiheita käyttäen mahdollisimman vähän vettä. Kuitulaboratorio on tehnyt pitkäjänteistä yhteistyötä sellutehtaan pesulaitteita valmistavan Andritz Oy:n sekä liuennon kuiva-aineen mittaamiseen soveltuvia refraktometrejä kehittävän Vaisala Oy:n kanssa. Tässä artikkelissa esitellään sellutehtaan kuitulinjalla tapahtuvan ruskean massan pesun tuloksen mittauskonsepteja, jotka perustuvat liuennon kuiva-aineen mittaamiseen jatkuvatoimisella digitaalisella refraktometritekniikalla.

Tutkimustyö toteutettiin 1.1.2019 alkaneessa ja 31.12.2020 loppuvassa KUITU-MOD – Puukuidun tehokkaat teolliset modifiointimenetelmät -hankkeessa. Hankkeen päärahoittaja on Etelä-Savon maakuntaliitto, ja rahoitus tehtiin Suomen rakennerahasto-ohjelman ”Kestävää kasvua ja työtä 2014–2020” kautta. Hankkeen muut kumppanit ovat Andritz Oy, Janesko Oy (nykyään Vaisala) ja Pixact Oy.

## JOHDANTO

Kuitulinjalla tapahtuva pesu on tärkeä osaprosessi kemiallisen sellun valmistuksessa, koska sillä on vaikutuksia seuraaviin prosessivaiheisiin ja toisaalta se on ensimmäinen osa kemikaalien talteenottolinjaa. Jos massa pääsee likaisena ruskean massan pesua seuraavaan valkaisuun, kasvaa valkaisukemikaalien tarve, massan saanto heikkenee, lujuusominaisuudet voivat heiketä ja lisäksi jätevesien käsittelyyn kulkeutuu enemmän liuennutta ainesta. Jos massa pestään huonosti, kulkeutuu myös arvokkaita keittokemikaaleja ja orgaanista poltettavaa tai uusiksi tuotteiksi muokattavaa ainesta jätevesiin. Toisaalta jos käytetään hyvin paljon vettä, jotta saataisiin puhdasta massaa, nousevat haihdutuskustannukset ja haihduttamossa saattaa ilmetä kapasiteettiongelmiä. Täten ilman optimoitua ja tehokasta ruskean massan pesua sellun valmistus ei ole taloudellisesti kannattavaa.

Pesun optimoinnissa on useita tekijöitä, joista voidaan mainita tärkeimpinä seuraavat:

- 1) Pesunesteen taseet. Käytettävä pesunestemäärä tulee optimoida, jotta pesutulos voidaan tehdä mahdollisimman pienillä haihdutuskuluilla.

- 2) Syöttö- ja poistosakeudet tulee optimoida pesureille, jotta voidaan saavuttaa täysi potentiaali laitteista.
- 3) Happivaiheen toiminta tulee optimoida, jotta massasta saadaan liuotettua maksimimäärä ligniiniä hukkaamatta saantoa ja lujuuksia.
- 4) Pesuhäviö tulee minimoida valkaisuun riittävän tehokkaalla pesulla.
- 5) Mustalipeän kuiva-ainepitoisuus tulee maksimoida haihuttamoon älykkäällä pesunesteen käytöllä.

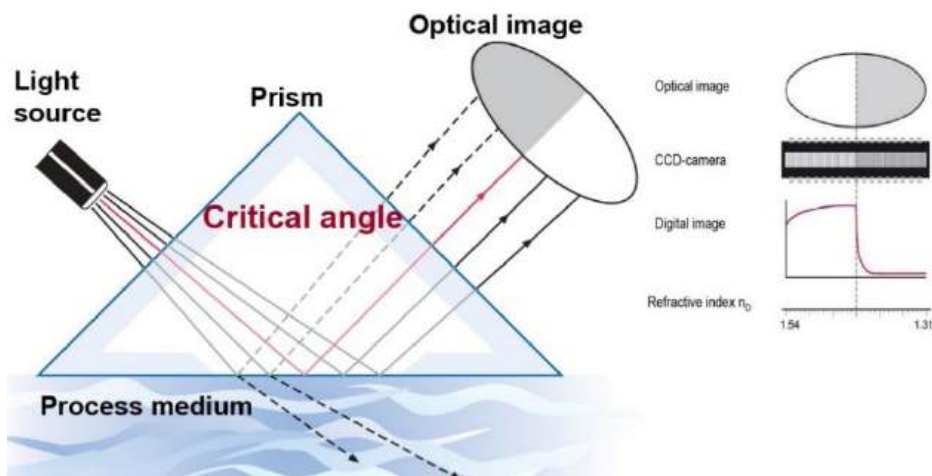
Edellä mainittujen asioiden vuoksi pesun tilan seurantaan, mittaamiseen ja säätämiseen tarvitaan reaaliaikaisia virtaus-, sakeus- ja ennen kaikkea tässä artikkelissa esitetyjä pitoisuusmittauksia.

## MITTAUSMENETELMÄ

Puusta liuenneita aineita sekä keittokemikaaleja, joita on massavirran mukana ja jotka päätyvät nesteosaan, kutsutaan pesuhäviöksi. Tarkoituksena on saada liuennut aine mahdollisimman tarkasti talteen ja välttää sen päätyminen jätevesiin. Aiemmin tästä liuenneesta aineesta kiinnostuksen kohteena olivat lähinnä arvokkaat keittokemikaalit. Näiden määrää mitattiin johtokyvyllä, joka korreloi kohtalaisesti epäorgaanisten keittokemikaalien määrän kanssa. Happivaiheen yleistettyä linjalle alettiin lisätä alkalia myös myöhempään vaiheeseen. Valkaisun vasteisiin, kuten vaaleuteen ja kappaan, vaikuttavat orgaaniset aineet nousivat tarkasteluissa 1990-luvulla tärkeämmiksi, ja pitoisuutta alettiin mitata kemiallisena hapenkulutuksena (COD), joka korreloi orgaanisten aineiden kanssa. Tässä työssä esitellään refraktometritekniikkaa, jolla voidaan mitata liuennun aineen eli orgaanisten ja epäorgaanisten aineiden kokonaismäärää.

Modernin sukupolven täysin digitaaliset prosessirefraktometrit mittaavat prosessiliuosten konsentraatiota (väkevyyttä) jatkuvatoimisesti. Digitaalinen mittauseriaate eliminoi prosessissa mahdollisesti esiintyvien häiriötekijöiden aiheuttamat mittauserheet. Massavirrassa tällaisia tekijöitä ovat kuplat, liukenemattomat epäpuhtaudet, värimuutokset ja kuidut prosessinesteessä. Prosessirefraktometrin toiminta perustuu valon taittumiseen ja kokonaisheijastuksen rajakulmaan. Prosessiaineen pintaan heijastettu valo taittuu eri tavalla eri aineiden pinnasta, ja taittumisen jyrkkyys riippuu aineen konsentraatiosta. Mittaamalla taittumisen optinen kulma voidaan mitata minkä tahansa aineen väkevyys. Taittumiskulmaan vaikuttaa vain aineeseos. Kuplat, väri tai kuidut eivät vaikuta taittumiskulmaan.

Ilmiötä hyödynnetään prosessirefraktometrissa valolähteen, prisman ja digitaalisen CCD-kameran eli kuvantunnistimen avulla. Eri kulmissa valonlähteestä lähtevät säteet muuttavat nopeutta ja suuntaa kohdatessaan ilmaa tiheämmän liuoksen (kuva 1). Osa valonsäteistä tunkeutuu liuokseen, ja osa heijastuu takaisin aineen rajapinnasta. Heijastuneet säteet muodostavat optisen kuvan CCD:lle. Säteistä muodostuu optinen kuva tummasta ja vaaleasta sektorista. ”Varjoaluetta” vastaavaa kulmaa kutsutaan kokonaisheijastuksen kriittiseksi kulmaksi. Kriittinen kulma on taitekertoimen funktio ja tässä liuoksen konsentraatio.



**KUVA 1.** Refraktometrin mittausperiaate (kuva Vaisala Oy).

Digitaalinen CCD-kamera havaitsee optisen kuvan ja varjorajan. Kamera muuntaa optisen kuvan piste pisteeltä elektroniseksi signaaliksi. Näin saadaan tarkasta varjorajasta määritettyä taitekerroin  $n_D$ . Sisäänrakennettu lämpötilasensori mittaa lämpötilan prosessinestein pinnasta. Indikoiva lähetin muuntaa taitekertoimen ja lämpötilan konsentraatioyksiköksi. Kuvassa 2 on esitetty mittaus asennusventtiilin läpi prosessiputkeen.



**KUVA 2.** Refraktometrin asennuskuva (kuva Vaisala Oy).

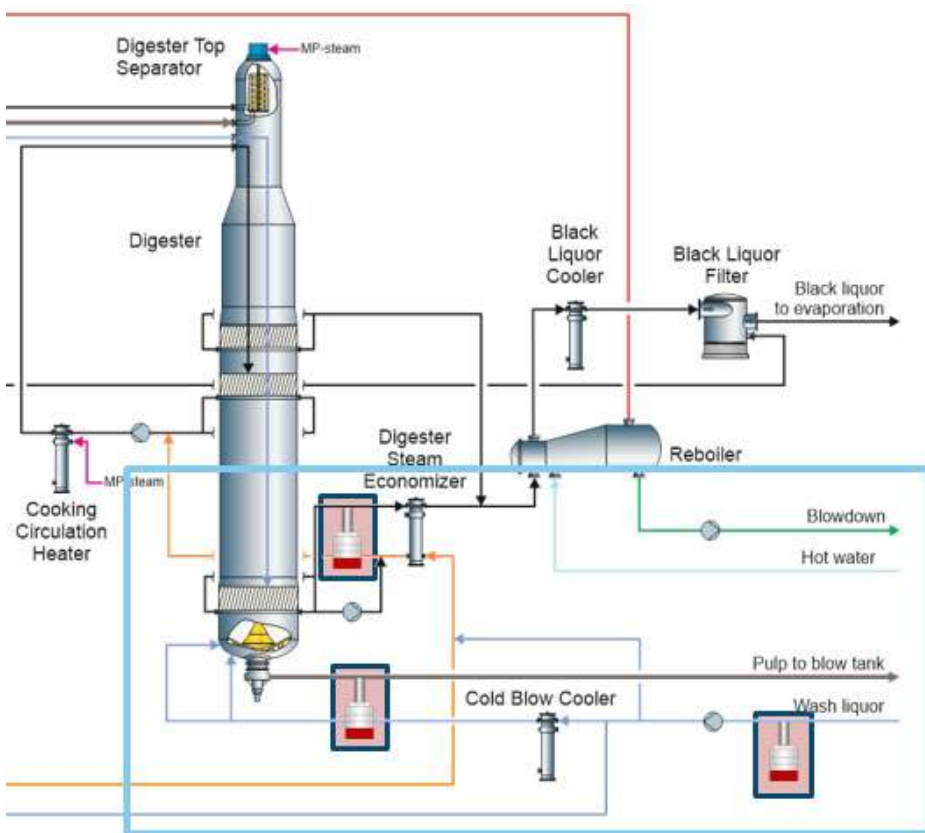
## TULOKSET

On erittäin tärkeää suunnitella tarkasti paikat, joihin pesun tilan seuraamiseen varatut mittalaitteet asennetaan. Useimmilla tehtailla mitataan ainakin pesulinjalle keitosta tulevan massan pitoisuus, happivaiheen alueen pitoisuudet sekä valkaisuun menevä kuorma. Näiden lisäksi voidaan keskittyä mittaamaan joko ongelmakohtaa tai esimerkiksi pesulinjan tärkeintä yksittäistä pesulaitetta, jolloin sen toiminta voidaan virittää optimaaliseksi. Mittausko-

konaisuuden lopulliseen valintaan vaikuttavat investoinnin suuruus ja takaisinmaksuaika. Kiinnostus mittauksiin ja hankintapäätös kuitenkin yleensä syntyy, jos pesussa tai sitä ympäröivissä osaprosesseissa on ongelmia. Tällöin investointi suurempaankin mittauskokonaisuuteen maksaa itsensä takaisin melko nopeasti, parhaimmillaan alle puolessa vuodessa.

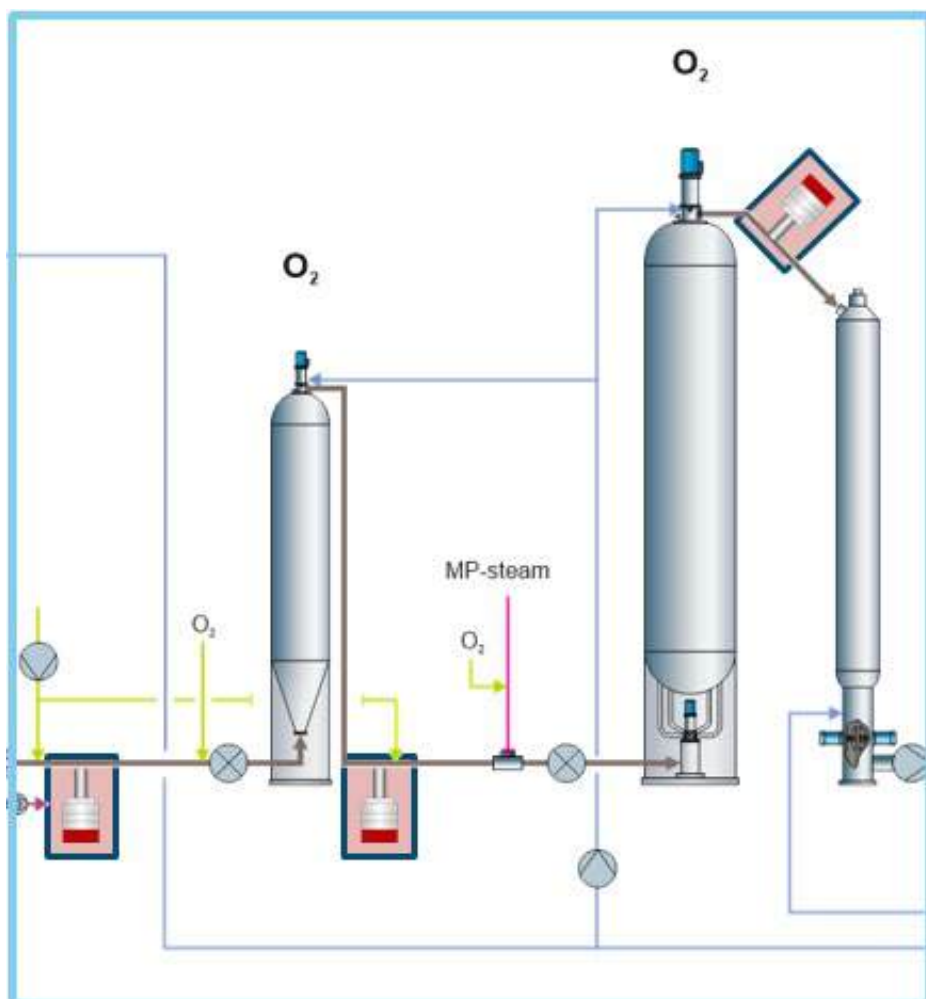
Tässä artikkelissa on esitelty kolme erillistä mittaustapausta, jotka liittyvät keittoon, happivaiheeseen ja yksittäiseen pesulaitteeseen, sekä kolme (Basic, Advanced ja Complete) mittauskokonaisuusratkaisua nykyaikaisella kuitulinjalla.

Kuvassa 3 esitetyllä mittauskonseptilla voidaan seurata keiton ympäristön virtausten pitoisuuksien muutoksia ja optimoida keittimessä tapahtuvan pesun tehokkuutta.



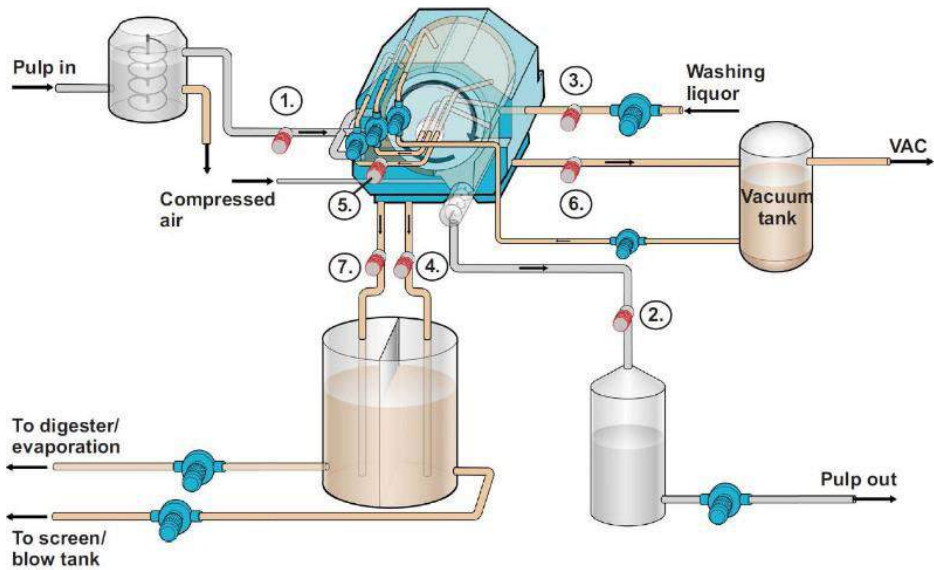
**KUVA 3.** Keiton optimointi refraktometreilla (kuva Andritz Oy).

Kuvassa 4 esitetyllä mittauskonseptilla, jossa mitataan 1. ja 2. happireaktorin syöttöjen ja 2. reaktorin poistomassan pitoisuudet, voidaan seurata ja mitata, miten ainetta liukenee massasta suodoksiin eli miten ligniiniä saadaan poistettua massasta hapen avulla alkalisissa olosuhteissa.



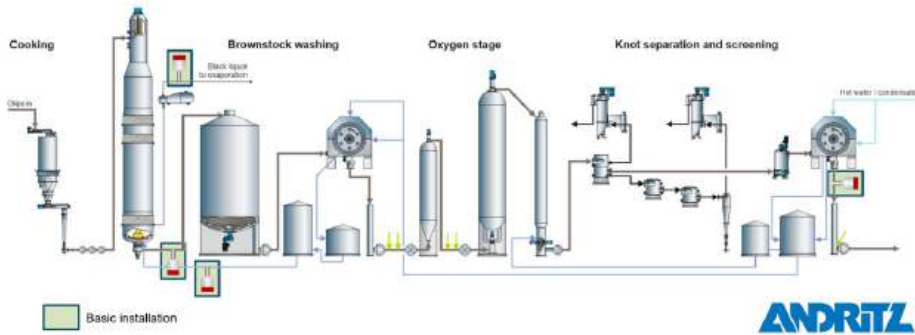
**KUVA 4.** Happivaiheen optimointi refraktometreilla (kuva Andritz Oy).

Kuvassa 5 esitetyssä mittauskonseptissa mitataan kaikki pesurin ympäristön pitoisuudet sekä tulevien ja poistuvien virtausten lisäksi myös sisäisiä kiertoja (mittauspiste 5.). Näiden mittausten avulla pystytään laskemaan pesurin kuiva-ainetase ja tehokkuusarvoja reaaliajassa. Myös kevyemmälläkin kolmen mittauksen kokonaisuudella (tuleva massa, poistuva massa ja tuleva pesuvesi) voidaan laskea pesurin tehokkuusarvoja. Mittausjärjestelyt mahdollistavat pesurin optimin ajotavan valinnan muuttamalla ajoparametreja ja seuraamalla kulloistakin tehokkuusarvoa.



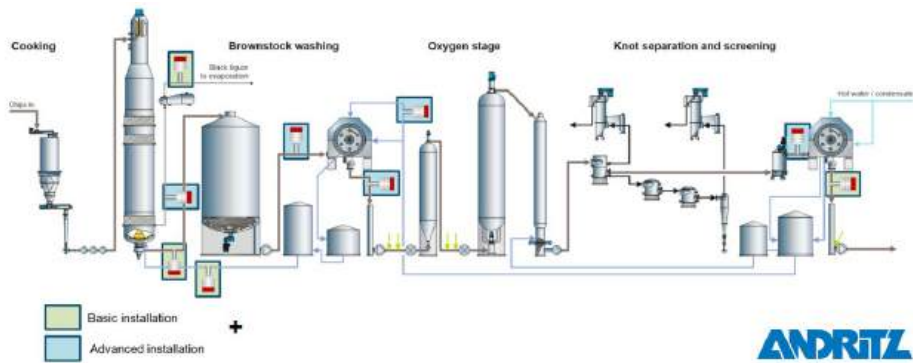
**KUVA 5.** Yksittäisen pesurin optimointi refraktometreilla (kuva Kopra et al. 2011).

Kuvassa 6 esitellyllä Basic-mittausratkaisulla voidaan mitata tase koko ruskean massan pesulinjan yli eli mitataan linjalle tuleva puskumassa, keittimelle menevä pesusuodos, viimeiseltä pesurilta poistuva massa sekä haihduttamoon menevä laihalipeä.



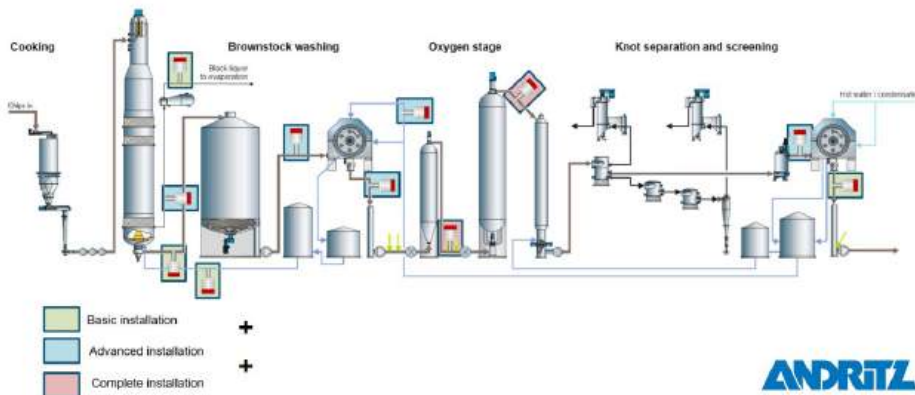
**KUVA 6.** Basic-ratkaisu pesulinjan toiminnan mittaamiseen perustuen online-refraktometreihin (kuva Andritz).

Kuvassa 7 esitellyllä Advanced-mittausratkaisulla voidaan seurata koko linjan taseen lisäksi tarkemmin keittimen ja erillisten pesulaitteiden toimintaa.



**KUVA 7.** Advanced-ratkaisu pesulinjan toiminnan mittaamiseen perustuen online-refraktometreihin (kuva Andritz).

Kuvassa 8 esitellyllä Complete-mittausratkaisulla voidaan seurata edellä mainittujen lisäksi myös happivaiheen toimintaa.



**KUVA 8.** Complete-ratkaisu pesulinjan toiminnan mittaamiseen perustuen online-refraktometreihin (kuva Andritz).

## JOHTOPÄÄTÖKSET

Reaaliaikaisten mittausten avulla voidaan seurata yksittäisen pesulaitteen toimintaa tai suurempaa kokonaisuutta. Reaaliaikainen tieto pitoisuusmuutoksista auttaa ohjaamaan ja säätämään yksittäisiä laitteita sekä koko pesulinjaa. Pienilläkin pitoisuusmuutoksilla voi olla merkittävä taloudellinen vaikutus valkaisu- ja huuhteluvaiheiden kulutukseen tai toisaalta pesuvesimäärien muutoksella haihdutuskustannuksiin. Toimivat mittaukset antavat operaattoreille mahdollisuuden tehostaa kuitulinjan toimintaa ja tehdä sellun valmistuksesta entistä kannattavampaa.



## LÄHTEET

Kopra R., Karjalainen S., Tirri T. and Dahl O. (2011) Optimization of pressure filter performance using refractometer - Mill investigations, *Appita Journal* 65(1):49-54, 94.

# UUSIEN KUITUTUOTTEIDEN TUTKIMUS JA SITÄ TUKEVAT INVESTOINNIT KUITU- LABORATORIOSSA

Noora Haatanen

Kuitulaboratorio on investoinut pilot-mittakaavan sekoituslaitteistoon, joka mahdollistaa kemiallisesti muokattujen selluloosakuitujen eli selluloosajohdannaisten valmistamisen ja uusien kuitutuotteiden tutkimuksen aiempaa laajemmin. Tutkimus ja investointi ovat osa opetus- ja kulttuuriministeriön rahoittamaa Bioproduct and Clean Bioeconomy – RDI FlagShip in Xamk -hanketta. Sen tavoitteena on kasvattaa biotuotteisiin ja puhtaaseen bionalouteen liittyvän TKI-toiminnan vaikuttavuutta, parantaa tutkimusfasiliteetteja ja yhteistyötä sekä kehittää uusia tuotteita ja prosesseja. Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu (Xamk) koordinoi hanketta. Hankkeen toteuttamiseen osallistuu Xamkilta kolme Metsä, ympäristö ja energia -vahvuusalan tutkimusryhmää/-laboratoriota: Kuitulaboratorio (Savonlinna), Ympäristöturvallisuuden tutkimustiimi (Mikkeli) ja Bio- ja kiertotalouden tutkimusyksikkö Biosampo (Anjala). Lisäksi hankkeen osatoteuttajana toimii Luonnonvarakeskus (LUKE). Hanke toteutetaan ajalla 1.10.2018–31.12.2021.

## JOHDANTO

Puupohjaisilla tuotteilla tuodaan jatkuvasti uusia kestävämpiä vaihtoehtoja erinäisten fossiilisista raaka-aineista valmistettujen tuotteiden, kuten muovituotteiden, rinnalle. Puukuiduilla ei kuitenkaan aina luonnostaan ole lopputuotteelta vaadittavia ominaisuuksia, kuten vesiliukoisuutta tai lämpömuovautuvuutta. Puun luontaisista selluloosakuiduista kemikaalien avulla muokattuja lopputuotteita kutsutaan selluloosajohdannaisiksi. Motivaatio selluloosajohdannaisten tutkimukseen ja selluloosakuidun ominaisuuksien muokkaamiseen löytyykin juuri sen tarjoamista uusista mahdollisuuksista. Synteettisten materiaalien asettamien vaatimuksien kopioimisen sijaan voidaan saavuttaa uusia ominaisuuksia ja fiksumpia materiaaleja kuin vaikkapa muovi.

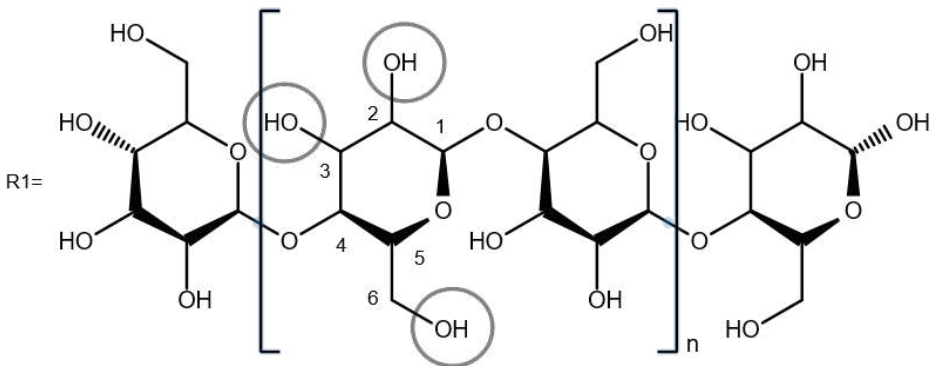
Kuitulaboratorio on investoinut pilot-mittakaavan sekoituslaitteistoon, joka mahdollistaa selluloosajohdannaisten valmistamisen ja uusien kuitutuotteiden tutkimuksen aiempaa laajemmin ja isommassa mittakaavassa. Kyseessä on niin sanottu suursakeusmikseri, jolla voidaan tutkia ja valmistaa selluloosajohdannaisia aiempaa korkeammissa kuiva-ainepitoi-

suuksissa. Perinteisesti matalassa sakeudessa tehtävä selluloosan kemiallinen modifointi on raaka-aineen, kemikaalien ja veden käytön kannalta tehotonta, ja sillä on suuri ympäristövaikutus.

Tässä artikkelissa esitellään yleisesti sellujohdannaisia, niiden hyötyjä ja haittoja, käyttötarkeitua sekä Kuitulaboratorion selluloosajohdannaisien kehittämiseen tähtäävää tutkimusta sekä liitännäisinvestointia tutkimuksen tukemiseksi.

## SELLULOOSAN KEMIALLINEN KÄSITTELY

Selluloosa on biohajoava ja uusiutuva luonnon polymeeri, jolla on laaja kirjo eri ominaisuuksia. Selluloosapolymeeri koostuu useista anhydroglukoosiyksiköistä (AGU), jotka muodostuvat kahdesta glukoosimolekyylistä ja ovat kietoutuneet tosiinsa nähden 180 astetta (kuva 1). Jokaisessa glukoosiyksiköissä on kolme vapaata hydroksyyliiryhmää. Juuri nämä hydroksyyliiryhmät pääasiassa määräävät selluloosan kemialliset ominaisuudet sekä reaktiivisuuden. Selluloosan kemiallinen käsittely viittaa kyseisten hydroksyyliiryhmien korvaamiseen erilaisilla funktionaalisilla ryhmillä, ja lopputuloksena syntyy selluloosajohdannaisia (kutsutaan yleisesti myös selluloosaderivaatoiksi). (Richardson ym. 2003)



Anhydroglukoosi-yksikkö (AGU)

**KUVA 1.** Selluloosapolymeeri ja anhydroglukoosiyksikkö (AGU) (kuva Noora Haatanen).

Muodostuneen polysakkaridin ominaisuudet riippuvat useista tekijöistä, kuten substituenttiryhmän luonteesta, substituutioasteesta (DS-luku, degree of substitution) ja substituenttiryhmien jakaumasta anhydroglukoosiyksikössä eli niin sanotussa perusyksikössä. Substituutioaste viittaa lopputuotteeseen kiinnittyneiden substituenttiryhmien määrään. Se on aina välillä 0–3, sillä hydroksyyliiryhmiä eli ”paikkoja” perusyksikössä on kolme: C2, C3, C6 (kuva 1). Substituenttiryhmien jakautuminen sen sijaan viittaa siihen, mihin

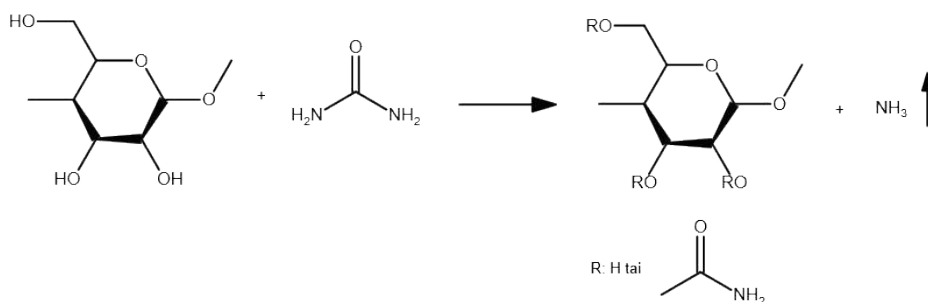
hiiliin kyseiset ryhmät ovat monomeerissä faktisesti kiinnittyneet. Kemiallisen käsittelyn reaktioihin ja lopputuotteen ominaisuuksiin vaikuttavat lainalaisuudet eivät ole vielä täysin tiedossa, ja epäjohdonmukaisuutta esiintyy laajasti, mikä luo omat haasteensa tutkimukselle. (Kontturi 2019, Richardson ym. 2003)

Lähtöaineen reaktiivisuudella ja puhtaudella on suuri vaikutus selluloosajohdannaisien valmistukseen ja lopputuotteen laatuun. Myös hyvä sekoitus tehostaa vaikutusta. (Willberg-Keyriläinen 2019) Lähtöaineen eli selluloosakuitujen puhtauteen vaikuttaa erityisesti, kuinka selluloosakuitu on eristetty kasvista ja onko sitä käsitelty. Mekaanisesti eristetyssä selluloosassa on jäljellä epäpuhtauksia, jotka toimivat itse kemiallisessa käsittelyssä inhibiittoreina. Mikrokiteinen selluloosa on lähtöaineena ihanteellinen, sillä sen valmistuksessa siitä on poistettu lähes kaikki hemiselluloosa, ligniini ja muut epäpuhtaudet. (Heinze 2018)

## SELLULOOSAJOHDANNAISET

Selluloosajohdannaiset jaotellaan yleisesti selluloosaestereihin ja -eettereihin. Esimerkkejä epäorgaanisista selluloosaestereistä ovat muun muassa selluloosakarabamaatti (CCA), -nitraatti (CN) ja -sulfaatti; orgaanisista estereistä selluloosa-asettaatti (CA) ja -formiaatti (CF). Yleisiä kaupallisia selluloosaeettereitä ovat muun muassa karboksimeetyyli- (CMC), metyyli- (MC) ja etyyli-selluloosa (EC). Näillä on kemiallisen käsittelyn kautta saavutettujen uusien ominaisuuksiensa vuoksi useita sovelluskohteita, kuten tekstiilit, kalvot, täyteaineet, komposiitit, geelit, hydrofobiset kuidut, pulverit, hiilikuidut ja kuitukankaat. (Heinze 2018, Kontturi 2019)

Eräs kiinnostava selluloosajohdannainen on selluloosakarabamaatti, jolla on markkinat muun muassa tekstiiliteollisuudessa ympäristölle haitallisen viskoosiprosessin korvaajana (Paunonen ym. 2019, Harlin 2019). Selluloosakarabamaatti (CCA, cellulose carbamate) valmistetaan käsittelemällä selluloosaa urealla 133 astetta korkeammassa lämpötilassa. Tässä lämpötilassa urea alkaa sulaa ja hajota isosyaanihapoksi ja ammoniakiksi. Isosyaanihappo reagoi C6-hiilen hydroksyyli-ryhmän kanssa muodostaen karbamyyli-ryhmän (kuva 2). Näin saavutettu selluloosakarabamaatti on liukoisuusominaisuuksiltaan muuttunut, ja siitä voidaan kemiallisesti tai fysikaalisesti muokata edelleen uusiksi tuotteiksi, kuten viskoosiksi/langaksi. Reaktion sivutuotteena syntyy ammoniakki-kaasua. Sekä ammoniakki että isosyaanihappo ovat terveydelle haitallisia, mikä tulee ottaa huomioon prosessia ja sen turvallisuustoimenpiteitä suunniteltaessa. Ureakäsittelyllä on kuitenkin omat etunsa. Urea on helposti saatava ja edullinen kemikaali. Lisäksi itse käsittelyprosessi on yksinkertainen ja näin ollen kustannustehokas. (Heinze 2018, Nguyen 2020, Palsanen 2012)



**KUVA 2.** Selluloosan ja urean reaktio selluloosakarbamaatin valmistuksessa (kuva Noora Haatanen).

## SAKEUDEN VAIKUTUS

Perinteisesti selluloosan kemialliset muokkaukset tehdään matalalla (LC, low consistency) tai keskisakealla (MC, medium consistency) massalla. Korkeasakeusprosessoinnin (HC, high consistency) odotetaan vähentävän prosessin ja lopputuotteen hintaa, käytettävien kemikaalien määrää, energiankulutusta ja prosessilaitteiden kokoa, ja samalla reaktion tehokkuus voisi jopa kasvaa. (Willberg-Keyriläinen 2019)

Yli 30 prosentin sakeus eli kuiva-aineen osuus märkäpainosta on niin korkea, että sitä on vaikea saavuttaa perinteisellä massalla. Tämän vuoksi korkeassa sakeudessa tehtävien tutkimusten osalta mikrokiteinen selluloosa (MCC, micro crystalline cellulose) on erityisen mielenkiintoinen. Se on happokäsittelyllä valmistettua selluloosaa, jonka kuitumainen olemus on muuttunut jauhemaiseksi. Sen polymerisoitumisaste (DP) on huomattavasti natiivi selluloosaa alhaisempi, noin 300–600, mikä tarkoittaa, että se on käsitellyssä pilkkoutunut lyhyemmiksi ketjuiksi.

Yksi tämän hetken tutkimushaaroista Kuitulaboratoriossa suuntautuu erityisesti mikrokitteisen selluloosan karbamointiin korkeassa sakeudessa. Esikokeita laboratoriomittakaavassa on jo tehty, ja tulokset ovat rohkaisevia. Seuraava askel on tutkia reaktion toistettavuus isommassa mittakaavassa.



**KUVA 3.** Mikrokiteisen selluloosan karbamointikoe laboratoriosekoittimella 40 prosentin sakeudessa Kuitulaboratoriossa (kuva Tomi Taskinen).

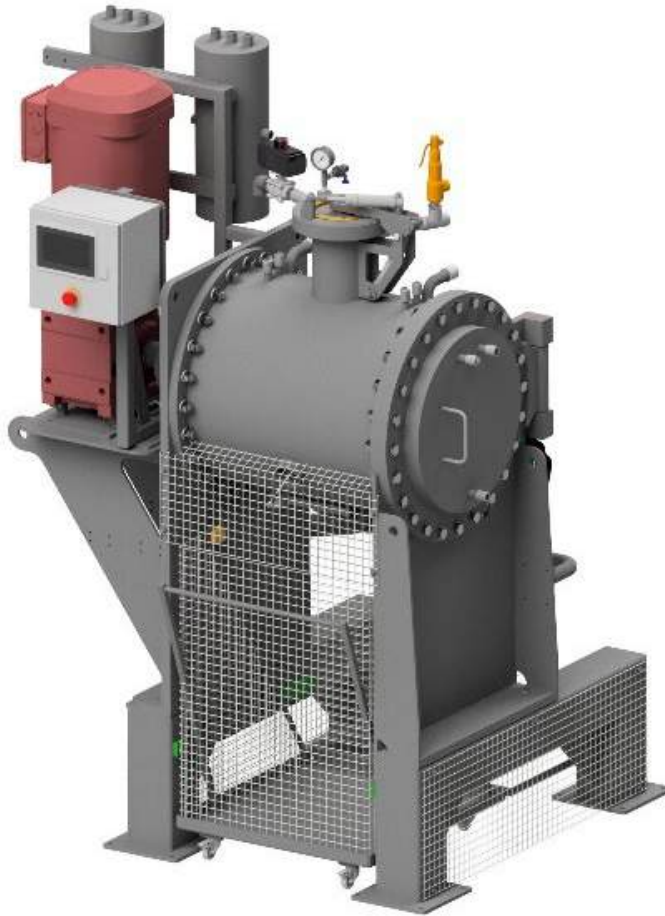
## SUURSAKEUSMIKSERILAITTEISTO

Kuitulaboratorion kiinnostuksen kohteena ovat erilaiset biotuotteet, ja se on erikoistunut erityisesti demonstraatio- ja tehdasmittakaavan testauksiin. Massankäsittelyn ja erilaisten sekoitusilmöiden lisäksi Kuitulaboratoriossa on jo olemassa mikrokiteisen selluloosan valmistukseen laitteisto, jolla voidaan tuottaa jopa 0,3 t/d AaltoCell™ mikrokiteistä selluloosaa.

Mikrokiteinen selluloosa (MCC) on hyvä lähtöaine korkeamman lisäarvon selluloosajohdannaisille, jota on tutkittu Aalto-yliopistossa, mutta MCC-johdannaisten reaktioita ei ole vielä skaalattu laboratoriomittakaavasta teolliseen skaalaan. Olemassa olevan MCC-laitteiston ohelle Kuitulaboratio on hankkinut uuden sekoituslaitteiston, joka mahdollistaa kemiallisesti muunnettujen MCC-johdannaisten tuotannon ensimmäistä kertaa pilotointimittakaavassa.

Kuitulaboratio hankki kyseisen sekoituslaitteiston kattavan EU-tason kilpailutuksen kautta Britanniasta Winkworth Ltd -yhtiöltä. Kyseessä on 137 litran vetoinen korkeata-sainen sekoituslaitteisto (RT80 High Pressure Reactor), materiaalina ruostumaton teräs (kuva 3). Sekoittimella voidaan operoida ylimmillään 10 baarin paineessa ja 180 asteen lämpötilassa. Lapasekoittimen ja erillisen hajottajan (kutsutaan myös homogenisaattoriksi)

avulla varmistetaan vaativankin kuitupitoisen ja sakean raaka-aineen tehokas sekoitus ja kemikaalien tarkka annostelu.



**KUVA 4.** Suursakeusmikserin suunnittelukuva (kuva Winkworth Ltd).

Laitteisto tulee sijoittumaan Kuitulaboratorion uuteen koehalliin Kuitu 3 Savonlinnan Teknologiapuistoon vuonna 2020–2021. Laitteiston sisäänajo sekä ensimmäiset koajot ajoittuvat vuoden 2021 toiselle neljännekselle.

## LÄHTEET

Harlin, A. 2019. Cellulose carbamate: production and applications. VTT Technical Research Centre of Finland. Saatavissa: <https://doi.org/10.32040/2019.978-951-38-8707-0> [Viitattu 28.8.2020]

Heinze T., El Seoud O.A., Koschella A. 2018. Principles of Cellulose Derivatization. In: Cellulose Derivatives. Springer Series on Polymer and Composite Materials. Springer, Cham. Saatavissa: [https://doi.org/10.1007/978-3-319-73168-1\\_4](https://doi.org/10.1007/978-3-319-73168-1_4) [viitattu 28.8.2020]

Kontturi, E. 2019. Selluloosajohdannaiset sekä mikro- ja nanokiteinen selluloosa. Luento 13.6.2019 Savonlinnassa. Luentomateriaali.

Nguyen, T. 2020. Recycling cellulosic fibers from waste textile by cellulose carbamate technology (CCA). Bachelor thesis. Saatavissa: [https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/342038/Thu\\_Nguyen.pdf?sequence=2&isAllowed=y](https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/342038/Thu_Nguyen.pdf?sequence=2&isAllowed=y) [viitattu 28.8.2020]

Palsanen, A. 2012. Puunjalostusinsinöörit, Innovaatioportfolio, 9.7. Selluloosakarbamaatit. Saatavissa: [www.puunjalostusinsinoorit.fi/biometsateollisuus/innovaatiot/9-sivutuotteet-ja-selluloosan-jatkojalosteet/9.7-selluloosakarbamaatit/](http://www.puunjalostusinsinoorit.fi/biometsateollisuus/innovaatiot/9-sivutuotteet-ja-selluloosan-jatkojalosteet/9.7-selluloosakarbamaatit/) [Viitattu 28.8.2020]

Paunonen, S., Kampuri, T., Katajainen, L., Hohenthal, C., Heikkilä, P., Harlin, A. 2019. Environmental impact of cellulose carbamate fibers from chemically recycled cotton. Journal of Cleaner Production, 222, s. 871-881. Saatavissa: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.03.063> [viitattu 28.8.2020]

Richardson, S., Gorton, L. 2003. Characterisation of the substituent distribution in starch and cellulose derivatives. Analytica Chimica Acta, 497, Issues 1–2, s. 27-65, ISSN 0003-2670. Saatavissa: <https://doi.org/10.1016/j.aca.2003.08.005> [viitattu 28.8.2020]

Willberg-Keyriläinen, P., Pitkänen, P., Hulkko, J., Asikainen, M., Setälä, H. 2019. The effect of mixing and consistency on cellulose cationization. Heliyon, 5(3), e01349. doi:10.1016/j.heliyon.2019.e01349



# ETÄOPETUSKURSSIA RAKENTAMASSA BIOTALOUDEN INNOVAATIOHANKKEEN YMPÄRILLE

Noora Haatanen & Kati Jordan & Jarkko Männynsalo  
& Juha-Pekka Ontronen & Marjatta Louhi-Kultanen

Tehokkaampia konversio- ja erotustekniikoita, puhtaampia lopputuotteita sekä ympäristöystävällisempiä materiaaleja ja kemikaaleja korvaamaan fossiilisia vaihtoehtoja – tähän pyritään Euroopan laajuisella, nelivuotisella IMPRESS-hankkeella, jota Xamkin Kuitulaboratorio vahvistaa omalla osaamisellaan. Hankkeen aikana kehitetään uusi tehokas prosessi biopohjaisten kemikaalien valmistukseen, ja Xamkin vastuulla yhteistyössä Aalto-yliopiston kanssa on tuoda hankkeessa saavutettu tietotaito suuren yleisön saataville nykyaikaista etäoppimisalustaa hyödyntäen. IMPRESS (Integration of efficient downstreaM PRocessEs for Sugars and Sugar alcohols) -hanke on saanut rahoitusta Euroopan unionin Horisontti 2020 -tutkimus- ja innovaatio-ohjelmasta rahoitussopimuksen No. 869993 mukaisesti, ja sen kesto on 1.9.2019–31.8.2023.

## JOHDANTO

IMPRESS (Integration of efficient downstreaM PRocessEs for Sugars and Sugar alcohols) -hankkeen tavoitteena on kehittää uudenlainen biojalostamokonsepti, jolla tuotetaan ruoantuotantoon kelpaamattomasta kasvipohjaisesta raaka-aineesta uusiutuvia kemikaaleja ja materiaaleja. Hankkeessa keskitytään arvioimaan ja yhdistämään valikoituja keskeisiä ja jo todennettuja teknologioita, joilla metsäteollisuuden ja maatalouden ylijäämävirroista voidaan jalostaa luonnollisia vaihtoehtoja korvaamaan fossiilisia tuotteita mahdollisimman tehokkaasti ja ympäristöystävällisesti. Prosessia arvioidaan perusteellisesti teknotaloudelliselta ja ympäristölliseltä kannalta toteuttamalla elinkaariarviointi ja prosessimallinnus.

Hankkeessa tutkittavien erotus-, puhdistus- ja konversiotekniikoiden sekä uuden kehitettävän biojalostamokonseptin ympärille luodaan nykyaikainen etäoppimiskurssi, jonka avulla hankkeessa kertynyt tietotaito saadaan IPR:n sallimissa rajoissa tuotua suuremmalle yleisölle tietoon.

## EUROOPPALAISISSA YHTEISTYÖSSÄ BIOTALOUDEN YTIMESSÄ

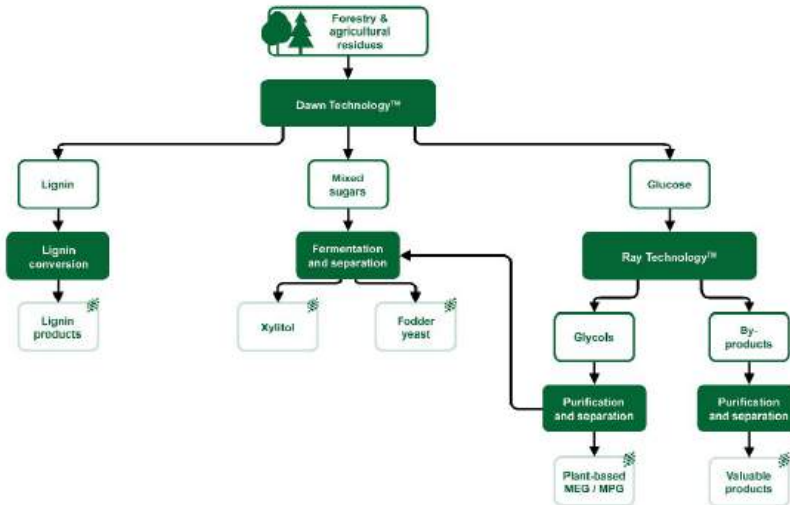
IMPRESS-hanke kokoaa koordinaattorina toimivan Avantium Technologiesin johdolla joukon alan johtavia eurooppalaisia yrityksiä ja kehitysorganisaatioita, ja tavoitteena on hyödyntää heidän osaamistaan muun muassa erilaisista puhdistus- ja erotusmenetelmistä, prosessin konseptisuunnittelusta, elinkaarimallinnuksesta sekä etäoppimismenetelmistä (kuva 1). Oman erikoisosaamisensa hankkeeseen tuovat membraaniteknologiasta Lenntech (Alankomaat), kiteytyksestä Sulzer (Sveitsi) ja Aalto-yliopisto, jatkuvatoimisesta simuloitu liikkuvapeti -prosessista (SMB, simulated moving bed) Knauer (Saksa) sekä adsorptiosta CNRS (Ranska) ja Avantium (Alankomaat), joista jälkimmäinen myös omistaa patentoidut pääkonversioteknologiat Dawn Technology™ ja Ray Technology™. Kolmantena konversiotekniikkana hyödynnetään fermentaatiota, josta vastaa Vogelbusch (Itävalta). Elinkaarimallinnuksen asiantuntijana hankkeessa toimii Sphera (Saksa), ja konseptitason prosessimallinnuksesta vastaa PDC (Alankomaat). Elinikäisen oppimisen sekä etäoppimismenetelmien kehittäminen sekä koko hankkeen viestinnän koordinoiminen on Xamkin vastuulla.



KUVA 1. IMPRESS-konsortion jäsenet (kuva Juha-Pekka Ontnonen).

## PUHDISTUS- JA EROTUSPROSESSIN TEHOKAS INTEGROINTI

Biojalostamokonsepti perustuu jo todennettujen puhdistus- ja erotustekniikoiden, kuten kiteytyksen, tislauksen, suodatuksen ja SMB-kromatografian, tehokkaaseen integrointiin prosessin eri tuotevirtojen laadun optimoimiseksi (kuva 2). Konseptiin kuuluvat keskeiset konversiotekniikat ovat Dawn Technology™ ja Ray Technology™ sekä ksylitolin fermentointitekniikka.



**KUVA 2.** IMPRESS-biojalostamokonsepti (kuva Juha-Pekka Ontronen).

Dawn Technology™ -teknologia mahdollistaa kasvipohjaisen, pääasiassa metsäteollisuuden ja maatalouden sivuvirroista syntyvän biomassan muuntamisen teollisuussokeriksi ja ligniiniksi. Se perustuu tehostettuun suolahappohydrolyysiin. Lopputuotteena muodostuvaa teollisuussokeria voi käyttää Ray Technology™ -prosessissa bioMEG:n (monoetyleeniglykolin) eli muun muassa muovin tuotannon keskeisen komponentin valmistuksessa fossiilisten luonnonvarojen korvaamiseksi tai bioMPG:n (monopropyleeniglykolin) valmistuksessa esimerkiksi lääke- ja kosmetiikkasovellusten tuotannossa. Ligniinvirta voidaan jalostaa kestäviksi kasvipohjaisiksi rakennuspalikoiksi, joita hyödynnetään muun muassa komposiiteissa ja veden ja ilman puhdistamisessa.

## ETÄOPPIMISYMPÄRISTÖN KEHITYSTYÖ

Xamkin vastuulla yhteistyössä Aalto-yliopiston ja muiden hankepartnerien kanssa on hankkeen tulosten ja kehitystyön kautta kertyneen tietotaidon levittäminen sähköisen oppimisolustan avulla tulevaisuuden osaajille. Xamkin panoksella hankkeessa on erityinen rooli

juuri tulosten jatkuvuuden ja vaikuttavuuden kannalta. Tarkoituksena on luoda kehitetyn konseptin ympärille nykyaikaista verkko-oppimismateriaalia, jota voidaan hyödyntää laajasti ja elinikäistä oppimista tukien. Kohderyhminä koulutuksille ovat Xamkin ja Aalto-yliopiston omat opiskelijat, hankepartnereiden oma henkilökunta sekä kaikki asiasta kiinnostuneet ammattilaiset. Hankekonsortion avulla tutkijat pääsevät mukaan aivan uudenlaisen biokiertotaloutta tukevan innovaatiohankkeen ytimeen, ja samaan aikaan opetuslستان kautta saadaan rakennettua luonnollinen yhteys myös biotuotetekniikan opetuksen kanssa. Opetuslستان ensimmäiset osat valmistuvat jo syksyn aikana, ja ne pilotoidaan Xamkin biotuotetekniikan opiskelijoilla arvokkaan loppukäyttäjäpalautteen saamiseksi. Prosessin eri vaiheissa kerätään palautetta myös hankekumppaneilta.

## ETÄOPPIMISALUSTAN VALINTA

Jo hankehakemuksessa todettiin Xamkilla ja Aalto-yliopistolla olevan käytössä Moodle-pohjainen oppimisympäristö. Aalto-yliopistolla alustaa kutsutaan nimellä My courses. Xamkin vanha Moodle-alusta ei olisi ollut käyttökelpoinen tämän kaltaisen hankkeen koulutuksen järjestämiseen muun muassa alustalle rekisteröitymisen vaikeuden vuoksi. Rekisteröityville opiskelijoille olisi täytynyt luoda tunnukset manuaalisesti, mikä olisi lisännyt hallinnollista taakkaa huomattavasti. Vuoden 2020 alusta Xamkissa kuitenkin otettiin käyttöön Open Learn -oppimisympäristö, jonne opintojaksolle osallistujat voivat rekisteröityä itse käyttäen omaa sähköpostitunnustaan. Tämä oli tiedossa jo hankkeen alkaessa, ja siten alustaan päädyttiin muun muassa synergiasyistä, sillä Moodle oli tuttu ja monipuolinen alusta molemmille hankkeen koulutustoimijoille.

## OPPIMISTASOT

Kohderyhmät vaihtelevat suuresti taustaosaamisen osalta, ja tämän vuoksi kurssit on suunniteltu siten, että ne sisältävät eri tasoja kohderyhmän mukaan. Hankepartnereille laadittiin ”guidelines”, jolla kuvataan eri tasoja. Perustasolla pyritään rakentamaan itsetarkistavia kursseja, mutta etenkin syventävällä tasolla tarvitaan myös opettajan ohjausta.

Tasojen kuvaukset perustuvat Bloomin 6-vaiheiseen taksonomiaan oppimisen arvioimiseksi muunnettuna 3-vaiheiseksi rakenteeksi (taulukko 1). Oppimistasot on jaoteltu kolmipor-taiseksi:

1. Kuvaava tieto (perustaso)
2. Sovellus- ja analyysitiedot (kandi- ja amk-taso)
3. Integroiva tieto (syventävä taso)

**TAULUKKO 1.** Etäopetuskurssin oppimistasojen kuvaukset ja kriteerit. Prosessilla viitataan kursseilla käytäviin menetelmiin ja ilmiöihin yms. Muokattu Bloomin 6-vaiheisen oppimisen arvioinnin taksonomian pohjalta.

	<b>Kuvaava tieto (perustaso)</b>	<b>Sovellus- ja analyysitiedot (kandi- ja amk-taso)</b>	<b>Integroiva tieto (syventävä taso)</b>
Oppimistavoitteet	Opiskelija ymmärtää prosessin periaatteet ja tuntee siihen liittyvän terminologian ja osaa selittää, mitä termit tarkoittavat. Opiskelija osaa luetella prosessin olennaisimmat kysymykset ja selittää prosessin toiminnan käyttämällä suurelta osin samoja ilmaisuja kuin materiaalissa on esitetty.	Opiskelija ymmärtää prosessin tieteelliset perustiedot sekä prosessin syy-seuraussuhteen. Opiskelija osaa käyttää prosessin matemaattisia malleja suhteellisen yksinkertaisten ongelmien ratkaisussa. Opiskelija ymmärtää ja osaa käyttää yleisiä simulointiohjelmiä prosessin keskeisten parametrien toiminnan ja vuorovaikutuksen analysoinnissa.	Opiskelija osaa arvioida kriittisesti prosessia erilaisissa sovelluksissa ja osaa löytää ja arvioida vaihtoehtoisia tapoja lähestyä tosielämän ongelmia, joihin prosessi liittyy. Opiskelija osaa luovasti ehdottaa prosessin käyttöä uusissa sovelluksissa.
Oppimateriaali	Tekstit, kuvavideot ja muu aineisto, joka kuvaa prosessin toimintaa ja linkkejä jatkokäsittelyyn. Aineisto on pikeminkin kuvaileva kuin matemaattinen tai tutkimuslähtöinen.	Tekstit, kuvat, videot ja muu materiaali, joka kuvaa prosessin syvempään ymmärtämiseen tarvittavaa tiedettä, esimerkkejä matemaattisten mallien soveltamisesta prosessin havainnollistamiseksi sekä ratkaistuja ongelmia.	Tekstit, tutkimusartikkelit, raportit jne., jotka kuvaavat prosessia sekä sovelluksia että tieteellistä taustaa.
Arviointi	Monivalintakysymykset, automaattinen arviointi.	Monivalintakysymykset (automaattinen arviointi) ja ongelmanratkaisutehtävät, joihin sisältyy itsearviointi ja ohjaajan arviointi.	Ongelmanratkaisutehtävät ja projektit, joihin sisältyy itsearviointi, ohjaajan arviointi.
Toteutus	Toteutetaan käyttäen kirjallisia ohjeita ilman opettajien tai ohjaajien osallistumista.	Opettaja, jolla on asiantuntemusta kyseisestä prosessista, ohjaa oppimisprosessia.	Opettaja, jolla on asiantuntemusta kyseisestä prosessista, ohjaa tehtäviä ja projekteja.

## **FUTURE OF BIOREFINING -KURSSIALUSTAN RAKENTELUA**

Hankkeessa tuotettava viidentoista opintopisteen kokonaisuus on nimeltään Future of Biorefining, ja se sisältää kolme kurssia:

- Moduuli 1: Separation and purification processes in biorefineries / Biojalostamon puhdistus- ja erotustekniikat (5 op)
- Moduuli 2: Process design and analysis / Prosessisuunnittelu ja -analyysi (5 op)
- Moduuli 3: Conversion Technologies / Konversiotekniikat (5 op)









Hankkeen tässä vaiheessa on luonnosteltu edellä kuvattua runkoa alaotsikoineen koko opintokokonaisuudelle sekä lähdetty kehittämään sille opetusallustaa.

Kurssituotannon tavoitteeksi asetettiin opiskelun etenemistä edistävän, selkeän kokonaisuuden luominen. Teorian esittämisessä haettiin vaihtoehtoja perinteisille PowerPoint-esityksille ja pdf-tiedostoille. Testattaviksi valittiin Moodlen oppitunti- ja kirjaformaatit. Moodle-kirjan rakenne noudattelee perinteistä kirjaa sisällysluetteloineen sekä pää- ja alalukuineen. Kirjan sivut voivat sisältää tekstin ja kuvien lisäksi muun muassa upotettuja videoita ja H5P-elementtejä. Moodlen oppituntityökalu puolestaan mahdollistaa yksilöllisten oppimispolkujen luomisen opiskelijan valintojen ja suoritusten perusteella. Loimme testisisällöt molemmille formaateille. Käyttäjätestauksen perusteella teorian esitystavaksi valittiin Moodle-kirjat, joissa navigointi oli selkeää ja kokonaisuus helpommin hahmotettavissa. Varsinaisen opetusallustan sisällön ja erilaisten työkalujen osalta testailua lähdettiin tekemään pienemmän demokurssin kautta, mistä seuraavaksi tarkemmin.

### **KURSSIN SISÄLTÖ ALKAA KITEYTYÄ**

Demovaiheessa tuotetaan erotus- ja puhdistusmenetelmiä käsittelevälle kurssille osio kiteytyksestä. Kurssin runko hahmoteltiin yhteistyössä Aalto-yliopiston kanssa. Sisältö on jaoteltu tasojen (level 1–3) mukaan vaiheittain syveneväksi kokonaisuudeksi (kuva 3). Tällä rakenteella pyritään vastaamaan elinikäisen oppimisen ja laajan kohderyhmän asettamiin haasteisiin. Teoria on koottu tasoittain Moodle-kirjoihin, mikä mahdollistaa jokaisen osion jakamisen pienempiin osakokonaisuuksiin.

## 5. CRYSTALLIZATION

	Getting started	
	Level 1: Thermodynamics	
	TEST 1	<input checked="" type="checkbox"/>
	Level 2: Crystallization kinetics	
	TEST 2	<input type="checkbox"/>
	Level 3: Industrial crystallization	
	TEST 3	<input type="checkbox"/>
	Encyclopedia of Crystallization	

Your progress 

**KUVA 3.** Kiteytysmoduulin rakenne (kuva Kati Jordan).


Johdanto-osiossa esitellään kurssin työkalut ja suoritusperiaatteet sekä varmistetaan tarvittavat pohjatiedot. Ensimmäisellä tasolla luodaan yleiskatsaus ilmiöön ja käsitellään termodynamiikkaa kiteytyksen näkökulmasta. Seuraavaksi syvennytään kiteytyksen kinetiikkaan ja lopuksi luodaan katsaus teolliseen kiteytykseen.

Jokaisella kirjalla on oma sisällysluettelonsa, ja kirjojen kaikissa luvuissa on yhtenäinen rakenne: oppimistavoitteet, perusteoria diaesityksenä, syventävä video, harjoitustehtävät, bonusmateriaali ja lähteet. Diaesitys ja harjoitustehtävät on rakennettu H5P-työkalulla, joka mahdollistaa monipuoliset sisältö- ja tehtävätyypit, itsearvioituvat tehtävät sekä yksilöidyn palautteen.

Opiskelija voi edetä kurssilla omaan tahtiin haluamalleen tasolle asti. Jokaisen tason jälkeen on automaattisesti arvioitava testi, jolla arvioidaan opiskelijan osaamista. Testit hyväksytysti suorittamalla voi ansaita osaamismerkkejä (kuva 4). Tarkoituksena on rakentaa koko opintokokonaisuudelle osaamismerkkijärjestelmä, joka mahdollistaa opintojen etenemisen seuraamisen ja voi osaltaan auttaa opiskelumotivaation ylläpitämisessä.

## SEPARATION AND PURIFICATION PROCESSES IN BIOREFINERIES: BADGES

NUMBER OF BADGES AVAILABLE: 4

Image	Name	Description	Criteria	Issued to me
	Master of Crystallization	You have passed all the tests of crystallization.	Users are awarded this badge when they complete the following requirement: <ul style="list-style-type: none"><li>• ALL of the following badges have to be earned:<ul style="list-style-type: none"><li>◦ "Crystallization Level 1"</li><li>◦ "Crystallization Level 2"</li><li>◦ "Crystallization Level 3"</li></ul></li></ul>	
	Crystallization Level 3	You earned an advanced level in crystallization.	Users are awarded this badge when they complete the following requirement: <ul style="list-style-type: none"><li>• The following activity has to be completed:<ul style="list-style-type: none"><li>◦ "Quiz - TEST 3"</li></ul></li></ul>	
	Crystallization Level 2	You have dived deeper in crystallization.	Users are awarded this badge when they complete the following requirement: <ul style="list-style-type: none"><li>• The following activity has to be completed:<ul style="list-style-type: none"><li>◦ "Quiz - TEST 2"</li></ul></li></ul>	
	Crystallization Level 1	You know the basics of crystallization.	Users are awarded this badge when they complete the following requirement: <ul style="list-style-type: none"><li>• The following activity has to be completed:<ul style="list-style-type: none"><li>◦ "Quiz - TEST 1"</li></ul></li></ul>	

KUVA 4. Kiteytysosion osaamismerkki (kuva Kati Jordan).

Lisäksi kurssilta löytyy sanasto, johon on koottu kurssin keskeisiä käsitteitä määriteltyn. Avainsanat voidaan linkittää kurssin tekstiin, ja opiskelija voi halutessaan tarkastaa määritelmän klikkaamalla sanaa. Sanaston tavoitteena on tukea käsitteiden omaksumista englanninkielisessä ympäristössä opiskeltaessa. Kurssituotannossa pyritään muutenkin huomioimaan opiskelijoiden erilaiset kielitaitotasot käyttämällä teoriaa tukevia kuvia ja kaavioita sekä jakamalla tekstit riittävän pieniin osiin ja korostamalla avainsanoja.

## RISUJA JA RUUSUJA SEKÄ KATSE KOHTI TULEVAA

Yllä kuvattu demonstraatiovaiheen kurssi avattiin IMPRESS-konsortiolle sen jatkokehitysideoita varten. Saadun palautteen valossa kurssikokonaisuus vaikuttaa olevan toimiva ja selkeä. Laajasta käyttäjäkunnasta ja vastaajien eri taustoista johtuen laajemman yhtenäisen päätelmän tekeminen on haastavaa. Kiitosta sai erityisesti sisällön jaottelu sekä kurssin yleinen ulkoasu (kuva 5). Kehitettävää ilmeni erityisesti kurssin navigoinnin ja kirjautumisen osalta.



## LEVEL 1: THERMODYNAMICS

### 1. INTRODUCTION

#### LEARNING OBJECTIVES

- ✓ Phenomenon of crystallization
- ✓ Main steps in the crystallisation process
- ✓ Basic methods for supersaturation
- ✓ Objectives in the process

#### STUDY THE BASICS



#### WATCH THE VIDEO



#### PRACTICE



#### BONUS MATERIAL



TABLE OF CONTENTS	
1.	Introduction
2.	User and advantages
3.	Methods
4.	Supersaturation
5.	Phase equilibrium

**KUVA 5.** Moodle-kirjan yhden sivun rakenne (kuva Kati Jordan).

Saadun palautteen avulla opetuslusta, sen toiminnallisuuksia sekä itse sisältöä saadaan muokattua kohderyhmän tarpeita vastaavaksi. Hankkeen seuraavissa vaiheissa kurssialustalle rakennetaan kokonaisuus, jonka sisältöä voidaan pienempinä osakokonaisuuksina vaihteittain testata muun muassa Xamkin biotuotetekniikan opiskelijoilla. Kurssikokonaisuuden on määrä valmistua hankkeen puitteissa vuonna 2023 ja se on tarkoitus saada sekä Xamkin että Aalto-yliopiston opiskelijoiden kurssitarjontaan aikaisintaan vuonna 2024.

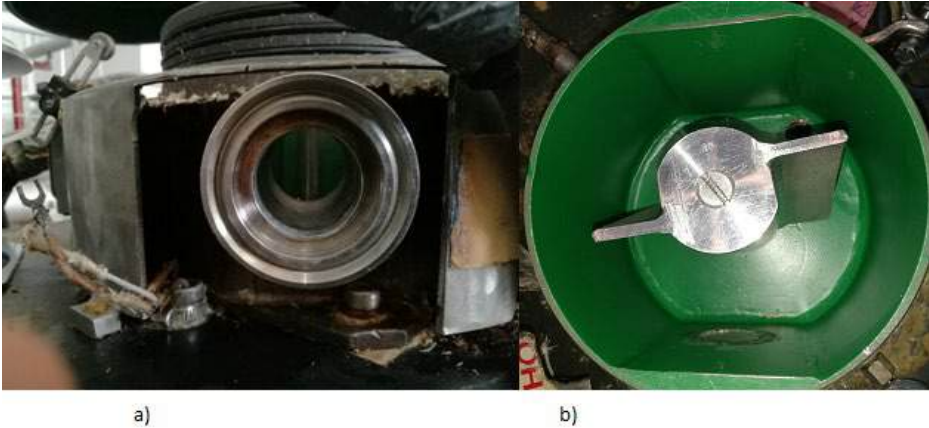
# LABORATORIOKOKKEET KUPLAN- MUODOSTUKSESTA, AINEEN- SIIRROSTA JA NÄIDEN MERKITYKSESTÄ HAPPI- DELIGNIFIOINNISSA

Antti Pappinen & Jari Käyhkö

Xamkin tutkimusyksikössä Kuitulaboratoriossa on tutkittu kaasun dispergoitumista massan joukkoon ja sen vaikutusta sellutehtaan kuitulinjalla tehtävään happidelignifiointiin. Tutkimuksia on toteutettu niin tehtaalla kuin myös Kuitulaboratoriossa KUITU-MOD – Puukuidun tehokkaat teolliset modifointimenetelmät -hankkeessa. KUITU-MOD-hanketta rahoittaa Etelä-Savon maakuntaliitto Euroopan aluekehitysrahastosta. Yhteistyö tehtaiden kanssa on lisääntynyt, ja uusien yhteistyökumppaneiden tehtaille on asennettu yhteetmittausten mahdollistamiseksi uusissa tehdasympäristöissä. Laboratoriossa tehdyissä kokeissa on selvitetty erilaisten tekijöiden vaikutusta kuplien muodostumiseen massasulpuissa Quantum Mark IV -laboratoriosekoittimella kuin myös pienemmässä mittakaavassa tähän tarkoitukseen rakennetulla kannettavalla sekoittimella. Laboratoriossa saatuja koetuloksia aiotaan käyttää tehtaalla happivalkaisun tehokkuuden parantamiseksi. Saaduilla tuloksilla on tarkoitus kartoittaa mahdollisuuksia prosessin optimoimiseksi ja saada parempaa ymmärrystä kuplanmuodostukseen vaikuttavista tekijöistä ja siitä, kuinka kuplanmuodostusta pystytään parantamaan. Tuloksia tullaan myös käyttämään happivaiheen mallinnuksessa, joka toteutetaan yhteistyössä Mainen yliopiston professori Adriaan van Heiningenin kanssa. Mallinnusta varten laboratorioskokeissa on tehty kokeita kuplakoon vaikutuksesta hapen aineensiiirtoon, joka on oletettavasti suurin rajoittava tekijä happivalkaisussa lyhytkuitulinjoilla. Tutkimusten ohessa on myös toteutettu opinnäytetyö ja opiskelijaprojekti dispergointiaineiden käytöstä kuplanmuodostuksen parantamiseksi ja tämän vaikutuksesta happidelignifiointiin.

## KOKEISSA KÄYTETYT LAITTEISTOT, MATERIAALIT JA MENETELMÄT

Laboratorioskokeissa on pääasiassa käytetty Quantum Mark IV -laboratoriosekoitinta, jossa on kaksi Sandvikin L-tyyppin laipalla olevaa yhdettä. Yhteiden kautta sekoittimen reaktoriin on mahdollista liittää erilaisia mittaussjärjestelmiä, kuten kuplakuvauskamerajärjestelmä, kehitteillä oleva kaasupitoisuusmittari ja refraktometri.



**KUVA 1.** Mark IV -laboratoriosekoittimen reaktorin kylkien tasaisille pinnoille on asennettu kaksi Sandvikin L-tyypin laippakiinnityksellä olevaa yhdettä, joiden kautta reaktoriin voidaan liittää mittausjärjestelmiä ja saada tarkempaa informaatiota reaaliaikaisesti. Kuvassa 1a Sandvikin L-tyypin laippa ja kuvassa 1b reaktori kuvattuna ylhäältä. (kuva Antti Pappinen)

Kuplakuvauksien tarpeisiin rakennettiin myös pienempi kannettava noin 0,5 litran tilavuudella varustettu sekoitin, jota voidaan ajaa esimerkiksi akkukäyttöisellä porakoneella. Kuplakuvauksjärjestelmä voidaan liittää sekoittimeen samalla tavalla kuin Quantum Mark IV -laboratoriosekoittimeen Sandvikin L-tyypin lippaan. Tämän ansiosta sekoitin voidaan ottaa mukaan tehtaalle ja suorittaa mittauksia siellä. Sekoittimella voidaan myös tehdä laboratorioskokeita kuplanmuodostuksesta pienemmällä massamäärillä.



**KUVA 2.** Pieni sekoitin kaasudispersiokokeisiin. Sekoitinta voidaan ajaa akkukäyttöisellä porakoneella, ja se on mahdollista ottaa mukaan tehtaalle. (kuva Antti Pappinen)

Happidelignifointikokeissa käytettiin tehtaalta saatua happidelignifointivaiheen syöttömassaa, jolloin kokeista saatuja tuloksia voidaan vertailla tehtaan prosessissa saatuihin tuloksiin. Hapen aineensiirtokokeissa käytössä on ollut samaa happidelignifointivaiheen syöttömassaa sekä valkaistua selluarkkeina ollutta pitkäkuituista mäntymassaa.

Hapen aineensiirtokokeissa massat on pesty DTPA:n läsnä ollessa, jotta hapetusreaktioita katalysoivien metallien määrää on saatu vähennettyä sulfittimenetelmän toimivuuden kannalta tarpeeksi alhaiselle tasolle. Pesussa massa laitettiin astiaan noin neljän prosentin sakeudessa, minkä jälkeen astiaan lisättiin 5 kg/tonni DTPA:ta. Massan annettiin hautua noin kaksi tuntia, ja sen jälkeen se pestiin vedellä. Kokeissa käytettiin kahta kaupallista, helposti saatavilla olevaa dispergointiainetta.

## KOKEET HAPEN AINEENSIIRTOKERTOIMEN MÄÄRITTÄMISEKSI

Hapen aineensiirtokokeiden tarkoituksena oli määrittää hapen aineensiirtonopeuden ( $k_L a$ -arvo) ja kuplakoon välinen yhteys. Tuloksia voidaan käyttää happivaiheen mallinnuksessa, jota tehdään yhteistyössä Mainen yliopiston kanssa. Mainen yliopistolta mukana on Adriaan Van Heiningen. Hän on tehnyt pitkää tutkimusura happidelignifoinnin, valkaisu- ja näihin liittyvän aineensiirron parissa. Yhteistyön tuloksena on tarkoitus luoda mekanistinen malli hapen aineensiirron määrittämiseksi happidelignifoinnissa.

Kokeissa sovellettiin sulfittimenetelmää, ja siinä massan joukkoon lisätään natriumsulfittia, joka hapettuu natriumsulfaatiksi. Koemenetelmän oikeaa tekotapaa ajatellen kokeissa on selvitetty massassa olevien metalli-ionien vaikutusta hapen aineensiirtonopeuteen Mainen yliopistossa tehdyn aiemman tutkimuksen (Krothapalli 2004) ja Benningtonin tekemien aineensiirtokokeiden pohjalta (Bennington 1999). Sulfittimenetelmä perustuu sulfiitin hapettumiseen, jolloin hapen reagoidessa sulfiitti hapettuu sulfaatiksi. Tämän vuoksi kaasumainen happi vähenee ja paine laskee. Tällä tavoin voidaan laskea hapen aineensiirtonopeus yhtälön 1 (Krothapalli, 2004) mukaisesti.

$$\ln \left( \frac{P_{O_2}(t)}{P_{O_2}^0} \right) = \frac{k_L a R T V_r}{V_g H} t \quad \text{Yhtälö 1}$$

$P_{O_2}^0$  = Hapen paine reaktorissa alussa (atm)

$P_{O_2}(t)$  = Hapen paine reaktorissa tietyssä hetkenä (atm)

R = Yleinen kaasuvakio (L·atm·K<sup>-1</sup>·mol<sup>-1</sup>)

T = Lämpötila (K)

$V_r$  = Reaktorin tilavuus (L)

$V_g$  = Kaasutilavuus reaktorissa (L)

t = Aika (s)

H = Henryn vakio (L·atm·mol<sup>-1</sup>)

$k_L a$  = Aineensiirtokerroin 1/s

Kuplakoko voidaan puolestaan laskea  $k_L a$ -arvon perusteella yhtälön 2 mukaisesti (Käyhkö, et. al. 2019).

$$k_L a = \frac{12 D_{O_2} X_g}{((1/X_g)^{1/3} - 1) d_b^2} \quad \text{Yhtälö 2}$$

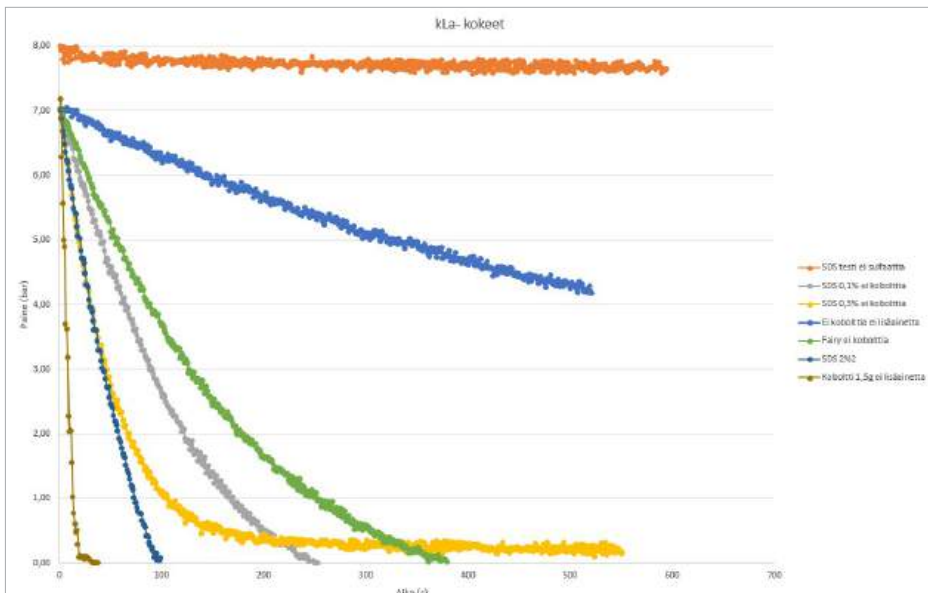
$D_{O_2}$  = Hapen aineensiirtonopeus

$X_g$  = Reaktorin kaasutilavuus

$d_b^2$  = Kuplien keskimääräinen halkaisija (mm)

$k_L a$  = Aineensiirtokerroin (1/s)

Hapen aineensiirtokokeissa on testattu hapen aineensiirtonopeutta pestyllä valkaistulla massalla, jolloin kaasun dispergoituminen massan joukkoon on heikkoa ja kuplat ovat suuria. Tässä tapauksessa hapen aineensiirtokerroin on huomattavasti pienempi kuin testeissä, joissa on käytetty dispergointiaineita paremman dispersion aikaan saamiseksi. Tämä voidaan nähdä nopeammasta paineen alenemisestä eri koepisteissä, kuva 3.

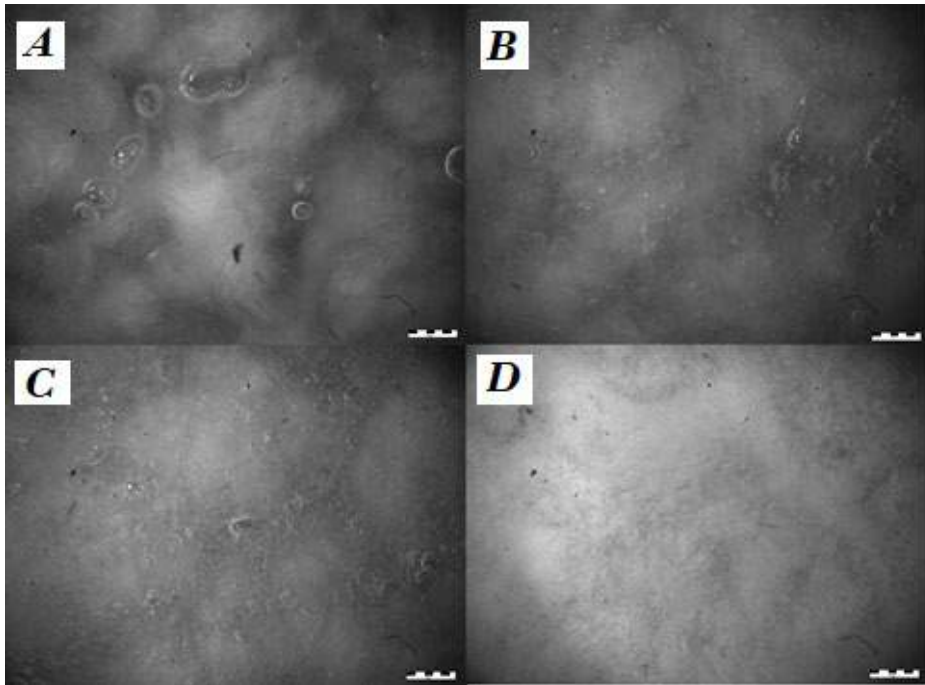


**KUVA 3.** Hapen aineensiirtokokeiden tulokset eri lisäaineilla (kuva Antti Pappinen).

Kuvasta 3 nähdään, kuinka hapen aineensiirtokokeissa, joissa massaan on lisätty dispergointiaineita, on paineenpudotus nopeampaa verrattuna massaan ilman dispergointiaineen lisäystä. Kuvasta nähdään myös katalyyttinä käytetyn koboltin ylisuuren määrän vaikutus paineen alenemaan. Sekoitus 30 sekuntia  $2400 \text{ rpm}^{-1}$ , kaasutilavuus reaktorissa 10 prosenttia, lämpötila  $20 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Kokeissa on myös käytetty kuplakuvauksjärjestelmää, jonka avulla on voitu mitata kuplien kokoa suspensiossa. Järjestelmällä saatua dataa ja kuvamateriaalia käytetään apuna mallinuksen laskelmien verifioimiseksi kuplakoon ja  $k_L a$ -arvon yhteydestä.

Pienellä sekoittimella tehdyissä dispersiokokeissa on selvitetty myös, kuinka eri määrät eri dispergointiaineita vaikuttavat kuplakokoon. Kokeissa on käytetty 10 prosentin sakeudessa olevaa pestyä happivaiheen syöttömassaa noin 10 prosentin kaasutilavuudessa. Kokeissa havaittiin, että dispergointiaineiden kuplanmuodostuksessa on eroja ja toisilla aineilla päästään tavoitekokoon paljon pienemmällä annosmäärällä. Kokeissa käytetyt annokset ovat vaihdelleet 2–40 kg/t asti, jolloin on ollut mahdollista nähdä, missä vaiheessa kuplakoko ei enää pienene dispergointiaineita lisättäessä.



**KUVA 4.** Kuva 4.a Pesty massa ilman dispergointiainetta, kuplien keskimääräinen halkaisija noin 0,7 mm. 4.b Dispergointiaine 1. 5 kg/t, kuplien keskimääräinen halkaisija noin 0,3 mm. 4.c dispergointiaine 2. 20 kg/t, kuplien keskimääräinen halkaisija noin 0,3 mm. 4.d dispergointiaine 1. 20 kg/t, kuplien keskimääräinen halkaisija noin 0,025 mm. Kuvassa esitetty 1 mm:n pituinen mittapalkki. (kuva Antti Pappinen)

Kuvasta 4 nähdään, että dispergointiaineen lisäyksellä on suuri merkitys kuplan muodostukseen. Kuvassa 4a massaan ei ole lisätty mitään, jolloin kuplat ovat todella suuria, halkaisijaltaan noin 0,7 mm ja niitä on vain vähän. Dispergointiaineita lisättäessä kuplakoko pienenee ja kuplien määrä kasvaa merkittävästi. Suurilla määrillä saavutetaan jo 0,025 mm halkaisijaltaan olevia kuplia. Tässä tapauksessa kaasun aineensiirtoon tarvittava pinta-ala on eksponentiaalisesti suurempi ja kaasu on levinnyt tasaisesti reaktorissa.

Kokeissa saaduista paineenaleneman kuvaajista (kuva 3) on laskettu  $k_L a$ -arvoja paineenaleneman eri vaiheissa. Tulokset on esitetty taulukossa 1.

**TAULUKKO 1.** Kokeellisen paineenalenneman kuvaajan avulla lasketut  $k_L a$ -arvot paineenalenneman eri vaiheissa.

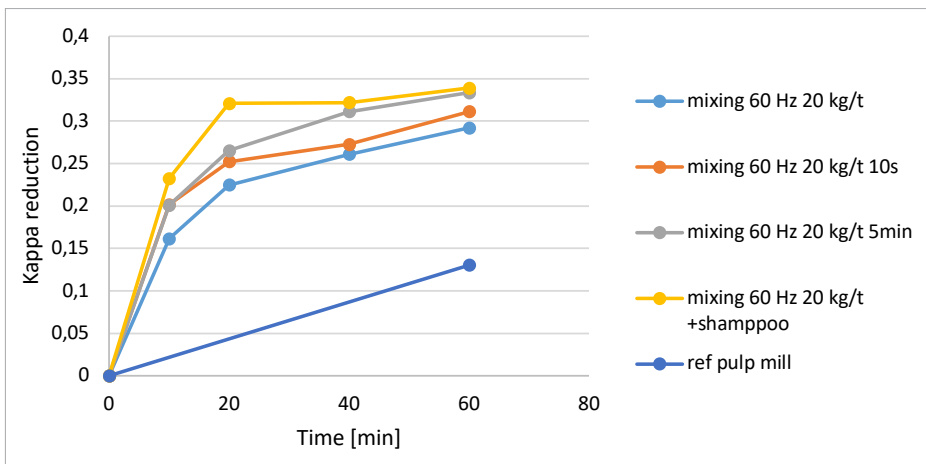
Dispergointiaine 2. kla		Ei mitään		Dispergointiaine 1. 2 %		Dispergointiaine 1. 0,3 %	
7-6 bar	0,0327	7-6 bar	0,0064	7-6 bar	0,0897	7-6 bar	0,0912
6-5 bar	0,0376	6-5 bar	0,0049	6-5 bar	0,0969	6-5 bar	0,1055
5-4 bar	0,0377	5-4 bar	0,0059	5-4 bar	0,1309	5-4 bar	0,1112
4-3 bar	0,0354	4-3 bar		4-3 bar	0,1303	4-3 bar	0,1259

Tuloksista nähdään, kuinka dispergointiaineiden avulla saavutetulla pienemmällä kuplakoolla päästään yli 20-kertaisiin  $k_L a$ -arvoihin.

Seuraavaksi tavoitteena on varmentaa, että kokeissa käytettävän katalyytin määrä on oikealla tasolla. Tämän jälkeen määritetään kokeellisesti olennaisimpien muuttujien eli kuplakoon ja kaasutilavuuden vaikutus hapen aineensiirtoon ja todennetaan, kuinka tämä vastaa yhtälöllä 2 laskettua indikaatiota.

## HAPPIDELIGNIFIINTIKOKEET

Happidelignifiointikokeissa on selvitetty hapen aineensiirron vaikutusta happidelignifiointiin. Kokeissa aineensiirtoa on säädetty erilaisilla sekoitussekvensseillä ja dispergointiaineiden käytöllä. Kuplakoon vaikutusta delignifioinnin onnistumiseksi on seurattu kappareduktion kautta.



**KUVA 5.** Sekoituksen ja dispergointiaineen käytön vaikutus kappareduktioon. Sekoitussnopeus  $2400 \text{ rpm}^{-1}$ , lämpötila 90 astetta, paine 7 baaria. (kuva Antti Pappinen)

Tuloksista nähdään (kuva 5), kuinka paremmalla sekoituksella voidaan saavuttaa suurempi kappareduktio verrattuna huonompaan sekoitukseen delignifoinnin aikana. Myös disperointiaineen käyttö parantaa reduktiota.

## JOHTOPÄÄTÖKSET JA JATKOTOIMENPITEET

Laboratoriossa tehdyt happidelignifointikokeet indikoivat, että kyseisessä tapauksessa tehtaan delignifointivaiheen kappareduktiota on mahdollisuus parantaa happidispresion kuplakokoa pienentämällä, ja seuraavana tavoitteena on päästä jatkamaan tähän liittyviä tehdaskokeita. Hapen aineensiirtotutkimuksissa on päästy hyvin eteenpäin koemenetelmän toimivuuden varmentamisessa, ja seuraavaksi suunnitelmassa on tuottaa koetuloksia happidelignifoinnin mallinnuksen kehittämiseksi ja verifioimiseksi. Lisäksi tutkimuksissa tullaan kvantifioimaan pesuhäviön eli massan mukana tulevan liuenneen aineen vaikutuksia happidelignifoinnissa. Aiemmat mallinnustutkimukset perustuvat puhtailla massoilla tehtyihin kokeisiin, mutta näiden soveltaminen suoraan tehdasmallinnuksiin ei onnistu, ellei pesuhäviön vaikutuksia myös huomioida mallinnuksessa.

## LÄHTEET

Bennington, C.P.J, and Pineault, I., "Mass Transfer in Oxygen Delignification Systems: Mill Survey Results, Analysis and Interpretation", Pulp Paper Canada, 100(12):123-131 (1999).

Krothapalli, Deep, "Gas-liquid Mass Transfer in Oxygen Delignification Systems" (2004). Electronic Theses and Dissertations. 888. WWW-dokumentti. Saatavissa: <http://digitalcommons.library.umaine.edu/etd/888>.

Käyhkö, J., Peltonen, K., Mutikainen, H., Kopra, R., Eloranta, H., Pesonen, A., van Heiningen, A., The Role of Gas Dispersion in the Oxygen Delignification Process. Proc. of the TAPPI PEERS Conference, 30.10-2.11. 2019, Saint Louise, MO, USA.



# PURISTUSJAUHATUSKEHITYS SEKÄ KUIDUN SISÄISEN FIBRILLAATION NMR-ONLINE- MITTAUS

Jari Käyhkö & Ekaterina Nikolskaya & Yrjö Hiltunen

Maailmassa tuotetaan vuosittain noin 400 miljardia kiloa paperituotteita ja näiden valmistuksessa olennainen prosessivaihe on kuidun jauhatus, jolla kuitumateriaalin ominaisuudet säädetään kyseiseen tuotteeseen sopivaksi. Jauhatus tehdään niin sanotuilla teräjauhimilla, ja Kuitulaboratoriossa on jo vuosia tutkittu tätä korvaavaa menetelmää, jossa jauhatus tapahtuu kuitua puristamalla. Kyseisellä menetelmällä voisi olla periaatteessa mahdollista pienentää energian kulutusta jauhatuksessa sekä lisätä kuidun ominaisuuksien säätöaluetta. Xamkille on myönnetty kyseiseen menetelmään liittyvä patentti. Ideana puristusjauhatuksessa on se, että kuituun tuotetaan lähinnä sisäistä muodonmuutosta eli sisäistä fibrillaatiota, joka puolestaan on tärkeä tekijä kuituista valmistetun tuotteen lujuuden muodostumisen kannalta. Soveltamalla Aalto-yliopistossa kehitettyä kuidun huokoisuuden mittausta yhdessä Kuitulaboratorion NMR-mittauksen kanssa on nyt saatu todennettua, että puristusjauhatus todellakin näyttäisi tuottavan sisäistä fibrillaatiota teräjauhatusta tehokkaammin. Tämä antaa pohjaa puristusjauhatusmenetelmän jatkokehitykselle ja lisäksi myös indikoi, että NMR-menetelmästä voisi olla mahdollista kehittää jatkuvatoiminen kuidun sisäisen fibrillaation mittaamenetelmä hyödynnettäväksi kuitu-, paperi- ja kartonkiprosessien seurannassa ja säädössä. Kyseessä olevalle mittaussovellukselle on nyt myös haettu patenttia. Tässä artikkelissa kuvataan lyhyesti kuitulaboratoriossa toteutetut puristusjauhatukseen liittyvät tutkimukset.

## JOHDANTO

Kemiallista massaa jauhetaan teräjauhimilla tiettyjen paperitekniisten ominaisuuksien, kuten lujuuden ja formaation, parantamiseksi. Teräjauhatuksessa kuidun ulkoinen fibrillaatio, kuitujen katkeilu ja hienoaineen muodostus, on merkittävää voimakkaiden leikkausvoimien takia. Tiedetään myös, että perinteisessä teräjauhatuksessa merkittävä osa kuituista, 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, jauhatusenergian tarve olisi matala ja käsittely olisi täysin homogeeninen kaikkien kuitujen osalta (Kerekes 2010, Hietanen 1991, Dekker et al. 2007).

Useiden tutkimusten mukaan kuitujen sisäistä fibrillaatiota pidetään tärkeimpänä jauhatusefektinä korkean lujuuspotentiaalin 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).

Puristusjauhatuksella on energiankulutuksen vähentämisen ja laatuparannusten lisäksi mahdollisuus laajentaa kuitumateriaalien toiminnallisia ominaisuuksia, mikä voisi johtaa ominaisuuksiltaan selkeästi parempien tai jopa aivan uuden tyyppisten 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 kuivatusenergiänsäästöön paperikoneella. Puristusjauhetuilla massoilla saattaa kuitenkin olla perinteisesti jauhettuja massoja selvästi alhaisempi repäisyjujuus ja bulkki (Dekker 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 laatupotentiaalin hyödyntäminen edellyttää kaksivaiheista jauhatusta. Ensin 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 teräjauhatuksella, 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 muutama, esimerkiksi modifioitu PFI-jauhin, mutta niiden muuntaminen tehdasmittakaavaan on vaikeaa tai mahdotonta.

## **PURISTUSJAUHATUSTUTKIMUKSET KID-JAUHIMELLA**

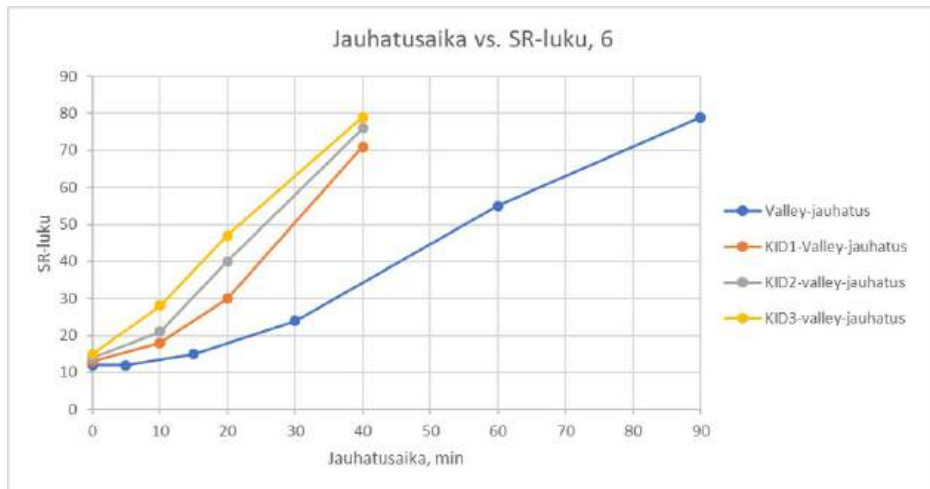
Puristusjauhatustutkimukset aloitettiin kuitulaboratoriossa jo noin kymmenen vuotta sitten yhteistyössä Laitex Oy:n ja venäläisen Mekhanobr yrityksen kanssa. Vuonna 2011 kuitulaboratorioon hankittiin kuitujen puristusjauhatukseen modifioitu pienimmän mitakaavan KID-kartiotärymurskain, jolloin varsinainen kokeellinen toiminta alkoi, kuva 1.



**KUVA 1.** KID-kartiotärymurskain (kuva Juhani Turunen).

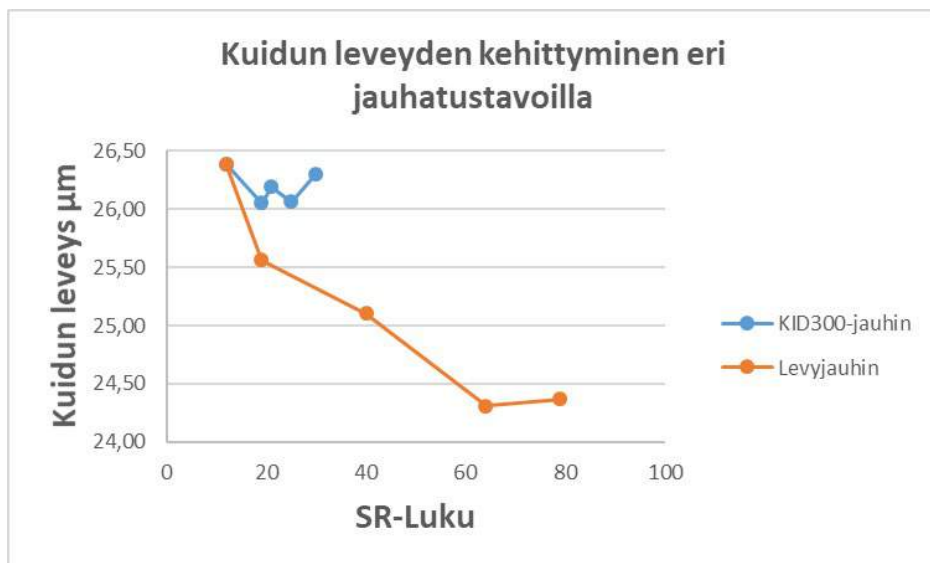
Ensimmäiset kokeet indikoivat, että pelkkä puristusjauhatuskäsittely ei riitä jauhatuskäsittelyksi, joten seuraavaksi keskityttiin tutkimaan puristusjauhatuksen käyttöä esikäsitteilynä teräjauhatukselle. Kokeita tehtiin erilaisilla massoilla sekä samalla optimoitiin puristusjauhatuksen jauhatusparametreja. Kuituominaisuuksien kehittymisen kannalta tulokset olivat hyvin vaihtelevia; muun muassa saatiin tuloksia, joissa lujuusominaisuudet paranivat huomattavasti teräjauhatukseen verrattuna, mutta usein vaikutukset jäivät vähäisiksi. Kuitutasolla havaittiin merkittäviä eroja puristus- ja teräjauhatuksen välillä, mikä edesauttoi ymmärtämään prosessia paremmin. Muun muassa puristusjauhatukseen liittyvistä aikaisemmista tutkimuksista poiketen KID-puristusjauhatuksen havaittiin vaurioittavan kuituja enemmän verrattuna teräjauhatukseen, mikä indikoi, että jauhatusolosuhteita esimerkiksi puristavien iskujen voimaa vähentämällä vaurioita ja siten kuitujen lujuusominaisuuksia olisi mahdollista parantaa. (Käyhkö & Kulmala 2018)

Seuraava merkittävä havainto oli, että puristusjauhatuksella näyttäisi olevan mahdollista parantaa kuidun jauhautuvuutta merkittävästi, mikä voisi tuoda muun muassa merkittäviä säästömahdollisuuksia jauhatuksen energian kulutukseen, kuva 2.



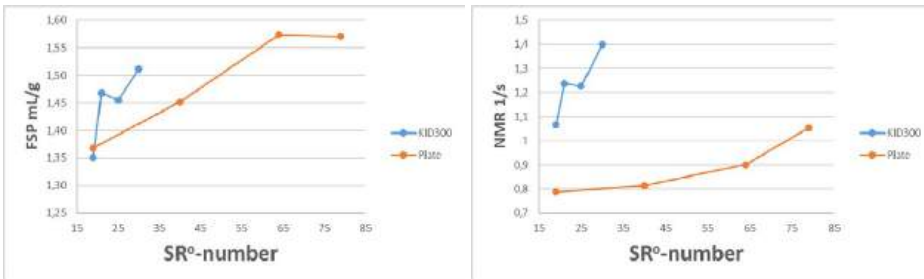
**KUVA 2.** Jauhatusasteen kehittyminen teräjauhatuksessa 0–3 kertaa KID-puristusjauhetulla massalla (kuva Käyhkö & Kulmala 2018).

Teorian mukaan jauhautuvuuden parantuminen voisi olla seurausta kuidun sisäisestä fibrillaatiosta, ja tätä pyrittiin todentamaan kokeilla, joissa massa jauhettiin useita kertoja KID-jauhaimella ja tätä verrattiin kuitulaboratorion Pilot-teräjauhaimella jauhettuun massaan. Sisäinen fibrillaatio edistää kuidun turpoamista, joten tämä voisi näkyä kuidun leveydessä. KID-jauhetujen kuitujen leveyden havaittiin olevan suurempi verrattuna teräjauhettuun massaan.



**KUVA 3.** Kuidun leveyden kehittyminen eri jauhatustavoilla (kuva Käyhkö & Kulmala 2018).

Tutkimuksia jatkettiin yhteistyössä Aalto-yliopiston kanssa, jossa näytteistä tehtiin myös kuidun sisäistä huokoisuutta mittaavat FSP (Fiber Saturation Point) -analyysit sekä vastavista näytteistä NMR-analyysit kuitulaboratoriossa. Myös kyseiset mittaukset indikoivat, että puristusjauhatusta todellakin aiheuttaa kuituun voimakkaammin sisäistä fibrillaatiota verrattuna teräjauhatukseen.



**KUVA 4.** Jauhatustavan vaikutus kuidun sisäiseen fibrillaatioon mitattuna FSP- ja NMR-menetelmillä. NMR-mittauksessa puristusjauhetun massan sakeus oli suurempi kuin teräjauhetun, mikä selittää tuloksissa havaittavan tasoeron. (kuva Käyhkö ym. 2020)

## JOHTOPÄÄTÖKSET JA JATKOSUUNNITELMAT

Varsinkin tässä esitetyt FSP- ja NMR-mittaukset ovat erittäin mielenkiintoisia. Kyseiset mittaukset osaltaan varmentavat, että KID-puristusjauhatuksessa tapahtuu levyjauhatusta enemmän kuidun sisäistä fibrillaatiota. Tämä antaa selityksen, miksi KID-käsittely parantaa kuidun jauhautuvuutta, ja toisaalta ensimmäisen kerran kokeellisesti todentaa sisäisen fibrillaation ja kuidun jauhautuvuuden yhteyden. Sen lisäksi, että KID-käsittelyllä voisi olla merkittävä vaikutus energian kulutukseen jauhatuksessa, tämä voisi myös antaa laajemmat mahdollisuudet kuidun ominaisuuksien optimointiin eri paperi- ja kartonkilaaduilla.

Myös havaittu FSP- ja NMR-mittausten korrelaatio voi olla hyvin merkittävää. FSP-mittauksen tiedetään kuvaavan hyvin kuidun sisäistä fibrillaatiota. FSP-mittaus on kuitenkin hyvin työläs ja soveltuu ainoastaan tehtäväksi laboratoriossa. NMR-mittaus on sen sijaan huomattavasti nopeampi menetelmä, ja se voidaan toteuttaa myös jatkuvatoimisena online-prosessimittauksena. Tämä voisi siis antaa mahdollisuuden mitata kuidun sisäistä fibrillaatiota jatkuvatoimisesti massa-, paperi- ja kartonkitehtaissa, ja kyseistä mittausta voisi olla mahdollisuus käyttää prosessin säätöön, esimerkiksi jauhatuksen ohjaukseen. Kyseisestä sovelluksesta on meneillään patentointitoimet.

Tässä esitetyt tulokset on saatu Kuuma EAKR/ELY -hankkeessa sekä QualityMeas EAKR/ELY -hankkeissa. Tutkimuksia jatketaan mahdollisuuksien mukaan esimerkiksi erillisinä oppilastöinä. Lisäksi tutkimuksien toteutukseen haetaan aktiivisesti uutta rahoitusta.

## LÄHTEET

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.

Käyhkö, J. ja Kulmala, L., Teollisen puristusjauhatusmenetelmän kehitys – kuitutason erot puristus- ja teräjauhatuksessa. Xamk/Metsä, Energia, Ympäristö, Vuosikirja 2018.

Käyhkö, J., Hiltunen, E., Hiltunen, Y., Nikolskaya, E., Kulmala, L., Maloney, T., The effect of KID compression refining on the fiber properties. (Arvioitavana Bioresources-lehdessä, 2020).

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.

Maloney, T., On the pore structure and dewatering properties of the pulp fiber cell wall, Dissertation. Helsinki University of Technology, Department of Forest Products Technology, Laboratory of Paper Technology. 2000.

Paavilainen, L., ”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.

# KUHA-HANKE – UUTTA POTKUA KAASUJEN KÄYTTÖÖN JA HALLINTAAN KUITULINJALLA

Jari Käyhkö & Riku Kopra & Marko Rasi & Kari Peltonen

Sellun valmistuksen eri prosessivaiheissa esiintyvillä kaasuilla on merkittävä vaikutus tehtaan toimintaan. Prosessiin sekoittuneet kaasut haittaavat muun muassa keittoa, pumppausta, lajitteluvaiheita, säiliöiden pinnankorkeuden hallintaa ja erityisesti prosessin tehokkuuden kannalta olennaisten pesuvaiheiden toimintaa. Kaasujen aiheuttamia haittoja hallitaan pääasiassa mekaanisilla kaasupestotekniikoilla sekä käyttämällä jatkuvatoimisesti vaahdonesto- ja kaasupestokemikaaleja. Kaasumaisia kemikaaleja käytetään ligniinin poistossa ja valkaisussa, ja tällöin olennaista on näiden sekoittaminen, kaasujen dispergoituminen sekä tämän merkitys kyseisen osaprosessin sekä koko kuitulinjan toiminnan kannalta. Hankkeessa ”Kuha – Kuitulinjan kaasujen hallinta” tavoitteena on kehittää osaamista ja uusia ratkaisuja kuitulinjan kaasujen käyttöön ja hallintaan. Pääasiallisina kehityskohteina ovat happipohjaisten kemikaalien käyttö sekä kaasujen vaikutukset pesuvaiheiden toimintaan.

## JOHDANTO

Kaasujen käytöllä ja käyttäytymisellä on merkittävä vaikutus nykyaikaisen sellutehtaan toimintaan. Kaikissa uusissa sellutehtaissa on käytössä niin sanottu happidelignifiointivaihe, jossa kaasudispersion avulla merkittävä osa keiton jälkeen kuituun jäävästä ligniinistä poistetaan. Happidelignifioinnilla on merkittävä vaikutus myös kuitulinjan ympäristökuormituksen pienentämiseen, koska kyseisessä vaiheessa erotettu orgaaninen aines ei kulkeudu jäteveden käsittelyyn vaan käytetään edeltävässä prosessissa, josta se kulkeutuu haihdutuksen jälkeen energian tuotantoon. Sellun valmistusprosessissa käytetään myös muita kaasumuodossa olevia kemikaaleja, ja erityisesti otsonin käyttö näyttäisi olevan lisääntymässä. Kulkeutuessaan prosessin tai prosessinosavirtojen mukana kaasuilla on myös merkittäviä haittavaikutuksia. Kaasujen läsnäolo heikentää keiton ja pesuvaiheiden toimintaa ja voi myös muilla tavoin merkittävästi haitata tehtaan ajettavuutta esimerkiksi suovan erotuksessa ja säiliöiden pintojen hallinnan kautta. Kaasujen haittoja pyritään hallitsemaan poistamalla kaasuja mekaanisesti sekä käyttämällä kaasujen poistoa edistäviä kemikaaleja.

Kuitulaboratoriossa on jo toiminnan alusta asti tutkittu kuitulinjan kaasuihin liittyviä ilmiöitä erityisesti prosessissa käytettävien kaasujen sekoituksen kannalta (lista tehdyistä tutkimuksista löytyy artikkelin lopusta). Toiminnan myötä on kehitetty uutta kuitulinjan



kaasuihin liittyvää koe- ja mittaustekniikkaa sekä osaamista. Kyseisiä tutkimuksia jatketaan syyskuussa 2020 alkaneessa Kuha – Kuitulinjan kaasujen hallinta -tutkimushankkeessa. Tässä kaksivuotisessa EAKR/Etelä-Savon maakuntaliitto -hankkeessa yritysrahoittajina ovat Andritz Oy, Vaisala Oy sekä Solenis Finland Oy. Aiemmissä tutkimuksissa on lähinnä keskitytty yksittäisiin prosessivaiheisiin, ja uudessa hankkeessa toiminta-ajatuksena on näiden lisäksi tarkastella kuitulinjan toimintoja laaja-alaisemmin kaasujen hallinnan kannalta sekä samalla kehittää prosessin hallinnassa tarvittavaa uutta mittaustekniikka ja osaamista.

## TOTEUTUS

Pääasiassa hankkeessa kartoitetaan kaasuja ja niiden vaikutuksia eri kuitulinjoilla, esimerkiksi Kaukopäässä (kuva 1), Tainionkoskella, Enocellilla, Äänekoskella sekä joillakin ulkomaalaisilla eukalyptus-linjoilla, sekä toteutetaan tehdaskoeajoja. Tärkeimmät prosessivaiheet ovat suovan erotus, kaasumaisiin kemikaaleihin perustuvat ligniinin poistovaiheet sekä näiden yhteys ja vaikutukset pesuvaiheisiin. Lisäksi tarpeen mukaan tehdään laajempia kartoituksia kaasujen lähteistä, esimerkiksi keittoa edeltävästä kaasunpoistosta, kaasujen sekoittumisesta ja erottumisesta eri prosessivaiheissa sekä näiden vaikutuksista prosessin toimintaan. Tehdastutkimusten rinnalla, tuella ja näitä tukien toteutetaan myös alla listattuja toimenpiteitä. Koronatilanteesta johtuen voi olla mahdollista, että projektin toiminta painottuu enemmän näihin ei-tehtaalla tapahtuviin toimenpiteisiin. Toisaalta tehdastutkimukset ovat esimerkiksi mittausyhteiden asennusten osalta edenneet tähän asti suunnitellusti.



**KUVA 1.** Kaukopään sellutehdas (kuva Jari Käyhkö).

## JATKUVATOIMISTEN ONLINE-MITTAUSTEN KEHITYS

Käytössä olevien mittausmenetelmien lisäksi hankkeessa kehitetään ja/tai otetaan käyttöön uusia menetelmiä prosessikaasujen jatkuvatoimiseen mittaukseen. Kehitystyö jakautuu kahteen osa-alueeseen, koostumuksen ja kaasupitoisuuden mittaamiseen.

- 1. Kaasun koostumuksen mittaus:** Kuitulaboratoriossa on onnistuneesti testattu kaasunäytteen jatkuvatoimista keräämistä prosessista ja näytteen koostumuksen pistemittausta. Tavoitteena on toteuttaa merkittävimpien kaasujen ( $O_2$ ,  $CO$ ,  $N_2$ ) jatkuvatoiminen protomittausjärjestely sekä hyödyntää tätä prosessitutkimuksissa. Samalla arvioidaan mahdollisuuksia toteuttaa mittaussovelluksia, joilla mitataan liuoksessa tapahtuvien kaasupitoisuuksien muutoksia. Hankkeen yhteydessä tehdään myös laajempaa arviointia prosessiteollisuuden, ensisijaisesti massa- ja paperiteollisuuden tulevaisuuden kaasumittaussovelluksista yhteistyössä Vaisala Oy:n kanssa, joka on juuri aktivoimassa toimintaansa tälle alueelle. Hankkeessa testataan mahdollisesti myös Vaisalan protomittauksia.
- 2. Kaasupitoisuuden mittaus:** Prosessin kaasupitoisuuden jatkuvatoimiseen mittaukseen on tällä hetkellä maailmassa olemassa kaksi erillistä menetelmää. Toinen on Kuitulaboratorion ja Kuopion yliopiston yhteistutkimuksesta spinoffina aikoinaan syntynyt johtavuustomografiaan perustuva EIT-mittaus ja toinen Kuitulaboratoriossa yli kymmenen vuotta käytössä ollut akustinen mittaus. Molemmissa on merkittäviä käyttöönottoa ja käytettävyyttä rajoittavia tekijöitä: esimerkiksi kumpikaan näistä ei sovellu happireaktorin jäännöskaasun mittaukseen ja jälkimäinen ei ole avoimesti kaupallisesti saatavilla. Kuplakokomittauksella saadaan tietoa kaasupitoisuuden muutoksista, mutta tämä on vain suuntaa antava mittaus. Tehdastutkimusten yhteydessä kehitetään ja testataan kuituprosessiin paremmin soveltuvaa kaasuosuuden mittaustekniikkaa. Tällä hetkellä lupaavimmalta näyttää esitestauksessa ollut savonlinnalaisen yrityksen kehittämä sähköinen mittaus. Lisäksi keskusteluja on käyty Stora Enson kanssa yhteistyötä tekevän Acosense-yrityksen kanssa, jonka monikäyttöinen akustiikkaan perustuva menetelmä voisi soveltua myös kaasupitoisuuden määrittämiseen. Myös kaasun koostumuksen mittauksen yhteyteen voisi olla mahdollista kehittää kaasuosuuden kvantitatiivinen mittaus. Kaasuosuuden kvantitatiivinen mittaus voisi perustua myös näytteen ottoon, ja tässä voisi olla myös mahdollista hyödyntää kaasun koostumuksen mittaukseen käytettävää näytteenkeräysjärjestelmää.

## KOELAITTEIDEN KEHITTÄMINEN

Delignifointi- ja valkaisu-kemikaalien toimivuutta on perinteisesti tutkittu laboratoriomittakaavassa Quantum Mark -sekoitusreaktorilla. Kaasumaiset kemikaalit kuitenkin pyrkivät kerääntymään reaktorin roottorin ympäristöön heikentäen kaasun dispergoitumista massaan. Hankkeessa kehitetään reaktorin sekoitustekniikkaa niin, että kaasun dispersio tehostuu ja vastaa teollisia laitteita. Tämä antaa uusia mahdollisuuksia tutkia erilaisten massojen ja kemikaalien käyttäytymistä käytäntöä vastaavissa olosuhteissa.

## LABORATORIOKOKKEET

Hankkeessa tutkitaan laboratorio-olosuhteissa, pääasiassa Mark-reaktorilla kaasumaisten kemikaalien ja autenttisten raaka-aineiden käyttäytymistä käytäntöä vastaavissa olosuhteissa. Erityisesti tutkitaan käytettävän puuraaka-aineen, liuennneiden aineiden sekä pintakemiaan vaikuttavien prosessikemikaalien vaikutuksia kaasudispersioon ja käsittelyn tehokkuuteen. Tuloksia hyödynnetään pilotointi-, tehdas- sekä mallinnustutkimuksissa.

## HAPPIDELIGNIFIOINNIN MALLINNUS

Tässä hankkeen osassa on tarkoituksena tehdä fysikaalisia sekä prosessidataan ja laboratoriokeksiin perustuvia malleja ja mallinnuksia, joilla selvitetään kaasujen käyttäytymiseen ja vaikutuksiin liittyviä perusilmiöitä. Fysikaalinen mallinnus toteutetaan yhteistyössä Mainen yliopiston professorin Adriaan van Heiningen tutkimusryhmän kanssa. Mallinnustyö on aloitettu jo GasOpti-hankkeessa selvittämällä, mikä on hapen aineensiirron ja kuplakoon välinen yhteys delignifointiprosessissa. Tavoitteena on luoda kyseiselle yhteydelle luonnonvakioihin perustuva mekanistinen malli.

## KAASUJEN VAIKUTUS PESUREIDEN TOIMINTAAN

Kaasu haittaa kakun muodostusta ja pesuveden läpäisyä ja aiheuttaa kanavoitumista. Tällöin pesusyrjäytys ei ole optimaalinen. Pesurin seurattavia ajoparametreja ovat syöttöpaine, pyörimisnopeus, momentti sekä lokerosakeus. Näiden lisäksi tutkitaan, miten pesuvesi kannattaa jakaa, jotta pesuri toimii optimaalisesti ja kuinka paljon vaiheistusta voidaan laitteesta saada irti. Vaiheistus kuvaa yksinkertaistettuna, kuinka monta kertaa massakakku kohtaa saman pesuveden. Massan laadun, tuotannon ja ilmapitoisuuden muutokset määräävät kussakin tilanteessa pesulaitteille optimit ajotavat edellä mainitun pesusakeuden ja vaiheistuksen suhteen. Löytämällä optimi ajotapa kuhunkin tilanteeseen saadaan laihalipeä korkeammassa kuiva-aineessa haihduttamoon, jolloin säästetään huomattavia määriä energiaa. Myös massa menee puhtaampana valkaisuun, jolloin kemikaaleja tarvitaan vähemmän ja jätevesiäkin syntyy vähemmän. Pesurin toimintaa seurataan reaaliaikaisilla mittauksilla ja niiden perusteella lasketulla online-tehokkuuslaskennalla.

## DATAN KERÄÄMISEN JA ANALYSOINNIN KEHITTÄMINEN

Tehdastutkimusten kannalta olennaista on mittaus- ja prosessidatan koostaminen ja analysointi. Kuitulaboratoriossa on tähän riittävän hyvin toimivat menetelmät, mutta näiden kehittäminen parantaisi pitkällä jäniteellä merkittävästi Kuitulaboratorion prosessitutkimusvalmiuksia. Tehdastutkimusten yhteydessä kehitetään mahdollisuuksien mukaan metodeja ja käytänteitä, jotka viimekädessä mahdollistavat mittaus- ja prosessidatan automaattisen reaaliaikaisen siirron ja etäanalysoinnin.

## TULOKSET

Projektin tuloksena saadaan tietoa kaasujen käyttäytymisestä, vaikutuksista kuitulinjan toimintaan sekä siitä, kuinka kaasujen käyttäytymisen hallinnalla voidaan parantaa tehtaan toimintaa. Samalla kehitetään online-mittaustekniikkaa ja tähän perustuvia ylätason hallintajärjestelmiä. Kehitystyö luo mahdollisuuden parantaa biotuotetehtaan toimintaa merkittävästi. Parantamalla pesujen ja happivaiheen toimintaa jo yhdellä suurehkolla biotuotetehtaalla on mahdollista lisätä bioenergian tuotantotehoa 3 MW ja lisäksi lisätä tuotantoa, parantaa tuotteen laatua, vähentää jätevedenpuhdistamolle menevää kuormaa sekä vähentää prosessikemikaalien käyttöä. Lisäksi hankkeella kehitetään Kuitulaboratorion tutkimus- ja palvelutoiminnan edellytyksiä.

## KUITULABORATORION KUITULINJAN KAASUIHIN LIITTYVIÄ TUTKIMUKSIA

Käyhkö, J., Peltonen, K., Mutikainen, H., Kopra, R., Eloranta, H., Pesonen, A., van Heiningen, A., The Role of Gas Dispersion in the Oxygen Delignification Process (under review to TAPPI Journal).

Käyhkö, J., Mutikainen, H., Peltonen, K., Kopra, R., and Honkanen, M., Gas Dispersion in the Oxygen Delignification Process (under review to TAPPI Journal).

Riku Kopra, Simo Karjalainen, Jari Käyhkö, and Olli Dahl. Portable refractometer for mill total dissolved solids (TDS) measurement. O PAPEL vol. 80, num. 02, pp. 68 - 73 - FEB 2019.

Mutikainen, H., Strokina, N., Eerola, T., Lensu, L., Kälviäinen, H., Käyhkö, J., On-line Measurement of the Bubble Size Distribution in Medium-Consistency Oxygen Delignification, *Appita* 68(2015):2, 159–164.

Liukkonen, M., Mutikainen, H., Käyhkö, J., Peltonen, K., Hiltunen, Y., 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.

Käyhkö, J., Peltonen, K., Mutikainen, H., Kopra, R., Eloranta, H., Pesonen, A., van Heiningen, A., The Role of Gas Dispersion in the Oxygen Delignification Process. *Proc. of the TAPPI PEERS Conference*, 30.10-2.11. 2019, Saint Louise, MO, USA.

Käyhkö, J., Mutikainen, H., Peltonen, K., Kopra, R., Eloranta, H., Honkanen, M., and Pesonen, A., The State and Effect of Gas Dispersion in the Oxygen Delignification Process. *Paper Week 2019*, March 24-26, 2019, Montreal, Canada.

Käyhkö, J., Mutikainen, H., Peltonen, K., Kopra, R., Hakala, M., and Honkanen, M., The State and role of gas dispersion in the oxygen delignification process, *Proc. of the the 51<sup>o</sup> Congresso Internacional ABTCP-CIADICYP 2018*, October 23-25, 2018, Sao Paulo, Brazil.

Käyhkö, J., Mutikainen, H., Peltonen, K., Kopra, R., Hakala, M., and Honkanen, M., Gas dispersion in the oxygen delignification process, *Proc. of the TAPPI PEERS Conference*, October 28-31, 2018, Portland, OR, USA.

Mutikainen, H., Kopra, R., Pesonen, A., Hakala, M., Honkanen, M., Peltonen, K., Käyhkö, J., 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. 5 pp.

Mutikainen, H., Peltonen, K., Pikka, O., Käyhkö, J. Characterization of Oxygen Dispersion in Delignification Process. International Pulp Bleaching conference, Grenoble, France October 29-31 2014.

Ilonen, J., Eerola, T., Mutikainen, H., Lensu, L., Käyhkö, J., Kälviäinen, H., Estimation of bubble size distribution based on power spectrum, 19th Iberoamerican Congress on Pattern Recognition, CIARP 2014.

Käyhkö, J., PULPVISION – Massan ja paperinvalmistuksen kuvantava mittaus sekä kokenäkösovellukset, Paperitehdaspäivät, Savonlinna 18.–19.8.2010.

# METSÄPUIDEN KASVULLISEN LISÄYKSEN LABORATORIO OSAKSI MAAKUNNAN INNOVAATIOTOIMINTAA

Lasse Pulkkinen & Mikko Tikkinen & Tuija Aronen

Biotalouden kestävä kasvu Suomessa edellyttää metsävarojen kasvun lisäämistä. Raaka-ainesatavuuden ohella on ylläpidettävä myös metsien terveyttä ja geneettistä monimuotoisuutta sekä huomioitava sopeutuminen ilmastonmuutokseen. Teollisuuden puutarpeen lisäksi metsien kasvun vauhdittaminen lisää metsien hiilensidontaa. Uudet teknologiat, joita voidaan hyödyntää myös metsätalouden ulkopuolella esimerkiksi erikoispuiden tuotannossa, luovat liiketoimintaa Suomeen ja maakuntaan.

Merkittävä avainteknologia ja korkean osaamisen ala tämän tavoitteen saavuttamiseksi on metsäpuiden taimien kasvullinen lisäys, johon Luonnonvarakeskuksen (Luke) Savonlinnan tutkimusryhmä on erikoistunut. Metsäpuiden kasvullisen lisäyksen laboratorio onkin suunniteltu ja toteutettu yhteistyössä Luken ja Xamkin kanssa. Tuloksena Savonlinnan teknologiapuistoon toteutettiin noin 550 neliömetrin laajuinen erikoislaboratorio tutkimus- ja innovaatiotoiminnan käyttöön. Yksiköstä on kehittymässä kansainvälisen tason tutkimusympäristö metsäbiotalouden alalle laajoine innovaatioverkostoineen.

## LÄHTÖKOHTANA ÄLYKÄS ERIKOISTUMINEN JA YHTEISTYÖ

Etelä-Savon älykkään erikoistumisen strategiassa metsään liittyvän TKI-toiminnan ja yritystoiminnan edistäminen kansainväliselle tasolle on tärkeässä roolissa. Kasvu1-laboratorion taustalla on Luonnonvarakeskuksen (Luke) Etelä-Savossa tekemä pitkäjänteinen ja kansainvälisesti korkeatasoinen tutkimus puiden kasvullisen lisäyksen teknologian parissa.

Luken kasvullisen lisäyksen tutkimusryhmällä (viisi tutkijaa, kolme teknistä asiantuntijaa) on yli 20 vuoden kokemus metsäpuiden lisäysmenetelmien kehittämisestä lähtien lehtipuiden mikrolisäys- ja syväjäädystekniikoista, joita sovelletaan muun muassa geenivarojen säilytyksessä (Välimäki 2020) ja aineistojen tuottamiseksi eri tutkimuskysymysten ratkaisemista varten. Viimeiset kymmenen vuotta ryhmä on kuitenkin keskittynyt havupuiden, erityisesti kuusen, solukkoviljelyyn perustuvan lisäysteknologian kehittämiseen. Tavoitteena on kehittää menetelmä korkealaatuisen kuusen viljelyaineiston tuottamiseksi ja

metsänjalostuksen tulosten nopeaksi siirtämiseksi käytäntöön. Luken kasvullisen lisäyksen tutkimus- ja kehitystyö on johtanut merkittäviin tuloksiin: ensimmäisenä Euroopassa Luke rekisteröi kuusen kasvullisesti lisätyn aineiston metsänviljelykäyttöön vuoden 2017 lopulla ja on siitä lähtien toteuttanut tuotantopilotteja useiden sekä suomalaisten että ulkomaisten yritysten kanssa. Lukella on myös laajat ja perinnöllisesti monimuotoiset lisäysaineistot, joita säilytetään syväjäädetyttyinä (Tikkanen ym. 2020).

Korkeatasoinen tutkimuksen ja kehityksen toimintaympäristö on tärkeässä roolissa Etelä-Savon maakunnan älykkään erikoistumisen strategian toteuttamisessa. Metsäpuiden kasvullisen lisäyksen laboratorio onkin merkittäväällä tavalla toteuttanut maakunnan älykkään erikoistumisen strategiaa. Vastaavia muita laboratorioita ei Suomessa ole, ja kansainvälisestikin toimintaympäristö edustaa alansa huippua. Investoinnin toteuttamisen taustalla on lisäksi Luonnonvarakeskuksen toimipaikkaverkoston ja tutkimusinfrastruktuurien keskittäminen, toimintojen sijoittaminen osaksi vahvoja osaamiskeskittymiä sekä alueellisen yhteistyön kehittäminen.

Xamkilla, Lukella ja Savonlinnan kaupungilla on pitkäaikainen yhteistyösopimus, jossa metsäpuiden kasvullisen lisäyksen teknologian kehittäminen on nostettu vahvaksi kehittämisen kärjeksi. Kasvullisen lisäyksen laboratorio -hankkeen toteuttamista valmisteltiinkin yli vuoden ajan yhteistyösopimuksen puitteissa ennen varsinaisen laboratoriahankkeen toteuttamista. Koska hankekokonaisuus oli varsin mittava kattaen yli kahden miljoonan euron laboratorion rakentamisen sekä Luken omat investoinnit laboratorion varusteluun, oli myös kokonaisuuden rahoituksen suunnittelu tehtävä hyvässä yhteistyössä Xamkin, Luken, Savonlinnan kaupungin sekä Etelä-Savon maakuntaliiton kanssa. Vuoden 2019 syksyllä valmistunut ja Kasvu1-nimeä kantava noin 550 neliömetrin kokoinen laboratorio onkin hyvä esimerkki alueellisesta yhteistyöstä.

Myös Xamk on tehnyt alan teknologiaan liittyen jo usean vuoden ajan tutkimus- ja teknologiayhteistyötä Luken kanssa. Taustalla on tutkittu ja kehitetty LED-teknologian hyödyntämistä puiden kasvullisen lisäyksen pilot-tuotannossa. Keskeisenä kehityshaasteena on ollut puiden kasvullisen lisäyksen tuotantoautomaation kehittäminen, jossa Xamk on kehittänyt robotiikka- ja automaatiosovellusta Kasvu1-pilotointiympäristön tarpeisiin. Robotiikka, automaatio sekä näihin liittyvät kameratekniikat ovatkin erittäin tärkeitä laboratorion toiminnan kannalta sekä alan uusien innovaatioiden kaupallistamisessa.

## **KASVULLISEN LISÄYKSEN LABORATORION TOTEUTTAMINEN**

Kasvu1-toimitilainvestointi toteutettiin Xamkin TKI-projektina. Toimintaympäristön erikoisvaateet liittyivät metsäalalle räätälöidyn korkean teknologian tutkimus- ja pilot-ympäristön asettamiin lähtökohtiin. Perinteisen tutkimuslaboratorion sijaan yksikkö onkin taval-



laan metsäbiotekniikan koetehdas, jossa on huomioitu pitkälle kehitetyn erikoistuotannon vaatimukset logistiikan, puhtauden sekä prosessin muiden erikoistarpeiden näkökulmasta. Tuotantoautomaation ja robotiikan avulla toimintaympäristö mahdollistaakin jopa usean miljoonan erikoistaimen pilot-tuotannon vuositason.



**KUVA 1.** Kasvu1-toimitilassa on moderni kryolaboratorio, jonka nestetyypitankkeissa on tilaa yli 40 000 syväjäädetytyn näytteen säilyttämiseen (kuva Luonnonvarakeskus).

Innovaatioalustana Kasvullisen lisäyksen laboratorion toteuttaminen tehtiin tiiviisti Xamkin ja Luken yhteistyönä. Haastavana lähtökohtana suunnittelussa ja toteutuksessa laboratorion toteuttamisessa olivat kasvullisen lisäyksen tuotantoprosessin hallintaan ja skaalaukseen liittyvät erikoispiirteet. Solukkoviljelmien kasvatusalustojen valmistus ja säilytys, aseptisen työskentelytilat, solukkoviljelmien kasvatus- ja syväjäädystilat, tuotettujen alkioiden kylmäsäilytys-, idätys- ja alkukasvatustilat sekä näytteiden mikroskopointitilat ja molekyylibiologian tilat ovatkin laboratorion ja samalla pilot-tuotannon tärkeimmät osakokonaisuudet. Lisäksi kokonaisuuteen liittyy apuötiloja.

Kasvu1:n tilat soveltuvat monenlaiseen solukkoviljelytyöhön, mutta ne on erityisesti suunniteltu havupuiden alkiomonistuksen eli somaattisen embryogeneesin (SE) tarpeisiin. SE-menetelmässä monistetaan valittujen puiden välisistä risteytyksistä peräisin olevia siemenalkioita solukkoviljelyllä. Menetelmässä siemenalkioista peräisin olevaa solukkoa kasvatetaan ravintoalustalla suljetuissa astioissa ja sen kehitystä säädelään alustan koostumuksen, kasvihormonien ja olosuhteiden avulla. Tuloksena yhdestä siemenestä saadaan suuri joukko kasvullisia alkiota, jotka voidaan varastoida kylmässä. Kylmävarastoidut

alkiot idätetään laboratoriossa ja siirretään pikkutaimina kasvihuoneelle (Tikkinen ym. 2020). Alkiomonistuksen eri vaiheita on mahdollista automatisoida, ja tämä onkin tarpeen kustannustehokkaan massatuotannon kehittämiseksi.



**KUVA 2.** KasvuI-toimitilan idätys huoneissa on led-valot ja säädettävät olosuhteet (kuva Luonnonvarakeskus).

## KASVULLISEN LISÄYKSEN LABORATORIO TUTKIMUKSEN JA INNOVAATIOIDEN ALUSTANA

Lukella on paraikaa meneillään useita tutkimushankkeita, joita KasvuI:ssä toteutetaan kansainvälisenä yhteistyönä: Esimerkiksi osana Forest Values -ohjelmaa Luke tutkii yhdessä Ruotsin maatalousyliopiston kanssa geenitietoon perustuvan valinnan yhdistämistä kuusen alkiomonistukseen. Tutkimuksessa valittavana ominaisuutena on juurikäävän kestävyys, jolle ruotsalaiset ovat löytäneet merkkigeenin (Nemesio-Gorriz ym. 2016). Tutkimuksessa etsitään lisää juurikäävän kestävyteen vaikuttavia geenejä ja tutkitaan merkkigeenin omaavien solukkolinjojen monistamista. Valitsemalla merkkigeeniä kantavia solukkolinjoja monistukseen voitaisiin metsänviljelyyn saada kestävämpää aineistoa.

Luken kehittämä alkiomonistustekniikka kiinnostaa maailmalla – tästä kertoo esimerkiksi uusiseelantilaisten kanssa tehtävä tutkimus, jossa selvitetään Luken in vitro -idätysmenetelmän (Tikkinen ym. 2018) soveltuvuutta radiatamännylle. Eurooppalaisessa, seitsemän

tutkimuslaitoksen yhteisessä ERA-NET Multiforever -hankkeessa puolestaan tutkitaan havupuiden monistamista käyttäen lähtöaineistona siemenalkioiden sijasta silmuja, lähtökoh- tana Luken onnistuminen alkioviljelmien aloittamisessa kuusen silmuista (Varis ym. 2018). Multiforever-konsortiossa tutkitaan myös muun muassa kasvullisten alkioiden varastoaineita osana niiden laadun muodostumista, vaihtoehtoisia alkioiden pakastussäilytystekniikoita ja taimien menestymistä erilaisissa olosuhteissa kansainvälisen kenttäkoesarjan avulla.

Tieteellisen tutkimuksen lisäksi Luke tekee Kasvu1:ssä käytännönläheisempää kehitystyötä. Tästä merkittävimpana esimerkkinä on innovaatioyhteistyö Xamkin kanssa alkionomis- tuksen tarvitseman alkionpoimintarobotiikan ja muun käsityötä vähentävän teknologian kehittämiseksi. Iso osa alkionomistuksen kehittämistä kohti massatuotantoa ovat myös Luken asiakkaidensa kanssa toteuttamat koti- ja ulkomaiset SE-taimien tuotantopilotit, joista saadaan jatkuvasti arvokasta tietoa alkionomistuksen soveltuvuudesta moderniin met- sätaimituotantoon. Metsänviljelyaineiston tuottamisen ollessa päätavoite Luke tutkii myös alkionomistuksen soveltumista erilaisiin erikoistuotannon muotoihin. Yhtenä alueellisen yh- teistoiminnan esimerkkinä tästä voidaan mainita yhteistyö Juvan Tryffelikeskuksen kanssa.

Kasvullisen lisäyksen teknologian ja lisäysaineistojen valintaperusteiden ohella Lukessa halutaan edelleen kehittää myös tutkimusalan infrastruktuuria. Luke on tehnyt päätöksen erikoiskasvihuonetilojen rakentamisesta Kasvu1-rakennuksen yhteyteen. Kasvihuoneet tulevat TKI-käyttöön, ja ne varustellaan modernein, olosuhteiden tarkan hallinnan edel- lyttämin laittein sekä vastaamaan paitsi kasvullisen lisäyksen myös molekyylibiologisen tutkimuksen tarpeisiin. Kasvatustilojen ohella tarkoituksena on rakentaa myös tiloja ai- neistojen käsittelyyn ja säilytykseen sekä kenttähenkilöstön tarpeisiin.

## YHTEENVETO

Xamkin ja Luken yhteistyössä toteuttama kasvullisen lisäyksen laboratorio on ollut merkit- tävä maakunnallinen yhteisöalustus alan metsäosaamisen nostamiseksi entistä vahvemmin maailmankartalle. Laboratorio vahvistaa Savonlinnan teknologiapuistossa metsäbiotalouden huippututkimuksen edellytyksiä ja toimintaympäristöä, ja vuoden 2019 syksyllä käyttöön otettu uusi toimintaympäristö onkin ollut merkittävä ja näkyvä lisä Savonlinnan Kuitula- boratorion ympärille kasvaneeseen osaamiskeskittymään. Toiminnan kehittämiseksi ja laajentamiseksi on suunnitteilla myös lisäinvestointeja osaksi keskittymää.



**KUVA 3.** Kasvu – Puun kasvullisen lisäyksen laboratorio – otettiin käyttöön syksyllä 2019 ja sijoittuu osaksi Savonlinnan teknologiapuistoa (kuva Lasse Pulkkinen).

Puun kasvullisen lisäyksen laboratorio -hanketta on rahoitettu Itä-Suomen rakennerahasto-ohjelmasta. Lisäksi Etelä-Savon maakuntaliitto, Xamk, Savonlinnan kaupunki ja Luonnonvarakeskus ovat osallistuneet toimintaympäristön rahoittamiseen.

## LÄHTEET

Nemesio-Gorriz, M., Hammerbacher, A., Ihrmark, K., Källman, T., Olson, Å., Lascoux, M., Stenlid, J., Gershenzon, J. & Elfstrand, M. 2016. Different Alleles of a Gene Encoding Leucoanthocyanidin Reductase (PaLAR3) Influence Resistance against the Fungus *Heterobasidion parviporum* in *Picea abies*. *Plant Physiol* 171(4):2671–81.

Tikkinen, M., Varis, S., Peltola, H & Aronen, T. 2018. Improved germination conditions for Norway spruce somatic cotyledonary embryos increased survival and height growth of emblings. *Trees*. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://doi.org/10.1007/s00468-018-1728-6>.

Tikkinen, M. A., Varis, S., A., Välimäki, S. M., Nikkanen, T. O. & Aronen, T. S. 2019. Somatic embryogenesis of Norway spruce in Finland – seven years from start to first commercial pilots. In: *Proceedings of the 5th international Conference of the IUFRO Unit 2.09.02 on "Clonal Trees in the Bioeconomy Age: Opportunities and Challenges" / Bonga JMPark YSTrontin JF (eds.). IUFRO Unit 2.09.02. 166–172.*

Varis, S., Klimaszewska, K. & Aronen, T. 2018. Somatic Embryogenesis and Plant Regeneration From Primordial Shoot Explants of *Picea abies* (L.) H. Karst. *Somatic Trees*. *Front. Plant Sci.*, 24 October 2018 |. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.01551>.

Välimäki, S. 2020. Jalavien geenivarat varmuuskopioidaan kryotankkeihin. *GeeniVarat* 2020: 10–11.

# HAVUPUUALKIOIDEN AUTOMATISOITU LAJITTELU JA KOULINTA

Elmar Bernhardt & Elina Havia & Hannu Leinonen & Henri Montonen  
& Mikko Tikkinen & Saila Varis

Metsänkäyttömuodot ja -menetelmät ovat suuressa murroksessa, mikä haastaa raaka-aineen hankintaketjua. Laadukkaana raaka-aineen kysyntään voidaan vastata uusilla korkean osaamisen ja teknologian mahdollistavilla taimituotantomenetelmillä. Keskeisimpiä jalostettavia ominaisuuksia ovat laaja-alainen ympäristöolojen vaihtelun sietokyky, puuaineen laatu ja kasvunopeus. Kasvullista lisäystä hyödyntämällä metsänjalostuksen tulokset voidaan siirtää aiempaa tehokkaammin palvelemaan metsänuudistamista.

Kuusen solukkolisäys perustuu kasvullisten alkioiden tuotantoon, jota voidaan nimittää myös alkiomonistukseksi eli somaattiseksi embryogeneesiksi (SE). Menetelmässä jäljitellään siemenen sisässä tapahtuvaa siemenalkion kehitystä. Solukkoviljelmään syntyy kuitenkin yhden alkion sijasta suuri määrä alkioita, ja kun viljelmät aloitetaan joko kehittyvistä tai kypsistä siemenalkioista, menetelmässä on oikeastaan kyse siementen monistamisesta. Toisin kuin siemenalkioilla, kypsillä kasvullisilla alkioiden ei kuitenkaan ole ympärillään suojaavaa siemenkuorta ja itämiseen energiaa antavaa ravintosolukkoa. Tästä syystä kasvullisia alkioiden ei voida kylvää suoraan kasvihuoneelle, vaan ne on idätettävä solukkoviljelyoloissa ja koulittava sitten jatkokasvatukseen (kuva 1). Käsitönä tehtynä menetelmä on kallis ja nostaa tuotetun solukkotaimen hintaa verrattuna siementäimeen, siksi erityisesti alkioiden koulinta itämään olisi automatisoiva.

Alkioiden automatisoituun lajitteluun ja koulintaan kehitetty laitteisto ja menetelmä toteutettiin osana Eliittitaimien tuotantoteknologian kehittäminen (SmartTree) -hanketta, jonka toteuttajia olivat Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulun (Xamk) yksiköt Elektroniikan 3K-tehdas ja Kuitulaboratorio sekä Luonnonvarakeskuksen Savonlinnan (ent. Punkaharju) yksikkö. Hanketta rahoittivat Xamk, Luke, Savonlinnan kaupunki sekä Etelä-Savon maakuntaliitto Euroopan unionin aluekehitysrahastosta ja sen toteutusaika oli 7/2017–9/2019.



**KUVA 1.** Kuusen alkiomonistuksen eteneminen siemenalkiosta taimeksi (kuva Luonnonvarakeskus sekä Xamk).

## TAUSTASELVITYKSET ROBOTIIKKAAN

Alkioiden käsittelyyn kehitettävän automatiikan ja robotiikan ratkaisujen osalta tehtiin ominaisuus- ja hintavertailuja sekä tutustuttiin yritysten tarjoamiin ratkaisuihin automatiikan, kamerajärjestelmän ja erilaisten ottimien osalta. Tältä pohjalta todettiin, että suoraan tähän tarpeeseen robotiikkaratkaisua ei ollut vielä olemassa. Eri vaihtoehdot olisivat vaatineet erilaista kallista räätälöintiä. Samalla olisi sitouduttu eri valmistajien omiin ratkaisuihin, mikä olisi ollut hankalaa menetelmän jatkokehittämisen suhteen. Saatujen kokemusten ja vertailujen pohjalta päädyttiin suunnittelemaan ja toteuttamaan oma robotiikkaratkaisu soveltaen valmiita kaupallisesti saatavilla olevia robotiikakomponentteja sekä kehittämään sen yhteyteen soveltuvat poiminta- ja kuvausratkaisut ohjelmistoinen. Tämä ratkaisu mahdollisti kokonaan oman moduulitason toteutuksen ja sen edelleen kehittämisen. Tältä pohjalta toteutettiin steriilitilaan soveltuva kasvullisten alkioiden erottelulaitteisto, jolla saadaan eroteltua solukkomassasta kasvatetut alkiot toisistaan erilleen ja sopivan etäälle toisistaan alkioiden poimintavaiheen kuvauksen onnistumiseksi. Laitteiston pinnat sietävät puhdistamisen miedoilla liuottimilla.

## ROBOTIIKAN OHJELMISTOKEHITYS

Toteutettavasta robotiikan ohjelmointityöstä tehtiin aluksi ohjelmistomääritys, jonka pohjalta toteutettiin robotiikkaohjelmiston suunnittelu- ja kehitystyö. Eri laitteiden rajapinnat liitettiin ohjelmalliseen kokonaisuuteen ja näille laitteille laadittiin perusohjauksen komennot. Viimeiseksi toteutettiin ohjelmistokomponenttien keskinäinen integrointi.

Ohjelmistototeutukseen sisältyi seuraavia osa-alueita: käyttöliittymän ohjelmointi loppukäyttäjän toiveiden mukaisesti, liikeakseleiden ohjaus sekä poimintaan liittyvien IO-laitteiden ohjelmointi. Lisäksi toteutettiin rajapinta käyttöliittymän ja kuva-analyysiohjelmiston väliin.

## ALKIOIDEN KUVAUS

Aiemmasta olemassa olevasta alkioiden kuvausaineistosta saadun mittausdatan perusteella pystyttiin määrittämään alkionvalinnan kannalta keskeiset mittausparametrit sekä alkioiden valintakriteerit näille parametreille. Alkiovalinnassa keskeisiksi todettujen parametrien mittaamiseksi rakennettiin tähän soveltuva uusi kuvausympäristö. Alkioiden automatisoitua erottelua varten kerättiin lähes 400 alkiokuvan kirjasto sisältäen kuvat sekä hyvälaatuisista että heikkolaatuisista alkiosta sekä kehittymättä jääneestä solukkomassasta.

## JOHTOPÄÄTÖKSET

Kasvullisten alkioiden automatisoidun lajittelun ja idätyksen menetelmäkehityksessä toteutettiin laitteisto, joka onnistuu erottelmaan osan alkiosta. Lisäksi laite poimii alkiota, ja alkiot saadaan asetettua geelialustalle itämään. Laitteiston koekäytössä todettiin kehitystarpeita sekä mekaniikan että ohjelmiston osalta. Lisäksi laitteiston pitkäaikaisia testejä steriilissä laboratorioympäristössä varsinaisen protoversion avulla ei ehditty aikataulusyistä toteuttamaan. Todetut kehitystarpeet on kuitenkin määritelty ja lisäksi on laadittu alustavia suunnitelmia menetelmän laitteiston edelleen kehittämiseksi.



# 3D-TULOSTUKSELLA ENERGIA-TEHOKKAITA RATKAISUJA ELEKTRONIikkaAN

Eetu Huttunen & Mikko T. Nykänen & Ilkka Vanttaja

Elektroniikan 3K-tehtaalla Savonlinnassa tehdyn selvitystyön tavoitteena oli testata 3D-tulostettavien materiaalien hyödyntämistä sähköteknisissä jäähdytysratkaisuissa. Lisäksi haluttiin tutkia energiaa säästävien valaistusratkaisuiden integroimista eri kappaleisiin ja materiaaleihin. Kaupallisilta markkinoilta löydettiin 3D-tulostukseen suunnattu lämpöä johtava materiaali Ice9 Rigid Nylon. Testauskappaleeksi valikoitui LED-valaisimen jäähdytyslementti, josta löytyi vertailua varten teollisuusvalmisteinen alumiininen versio. Toiseksi työssä tutkittiin 3D-tulostettavien läpinäkyvien materiaalien hyödyntämistä sähköteknisissä valaistusratkaisuissa. Tätä tutkimusta varten 3D-tulostettiin eri materiaaleista LED-valaisimen etulevyjä, joiden valon läpäisyä mitattiin valaistusvoimakkuusmittarilla. Ice9 Rigid -materiaalista 3D-tulostetut jäähdytyslementit asettuivat lämmönjohtomaisuuksiltaan tutkimuksessa verrokkeina olleiden ABS- ja alumiinijäähdytyslementtien puoliväliin. FDM-tekniologialla onnistuttiin lisäksi 3D-tulostamaan yllättävän kirkkaita ja hyvin valoa läpäiseviä LED-valaisimen linsejä ”HD glass”- ja ”Verbatim Durabio”-materiaaleista. Suur-Savon Energiasäätiö on tukenut selvitystä.

## JOHDANTO

Työn tavoitteena oli tutkia ja kokeilla 3D-tulostettavien materiaalien hyödyntämistä elektroniikan jäähdytys- sekä valaistusratkaisuissa. Tutkimuksessa pyrittiin keskittymään energiansäästön näkökulmaan. Tarkoituksena oli testata, kuinka hyvin markkinoilla oleva 3D-tulostettava lämpöä johtava muovimateriaali toimii LED-valaisimen jäähdytyslementtiratkaisussa verrattuna alumiiniin. Lisäksi haluttiin tarkastella, kuinka tavallinen 3D-tulostettava ABS-muovi eroaa lämpöä johtavasta muovista. Toisena tehtävänä tutkittiin 3D-tulostettavien läpinäkyvien LED-valaisimien etulevyjen/linssien valmistusta FDM-tulostusmenetelmällä. Eri materiaaleista ja erilaisilla tulostusasetuksilla tulostettuja linsejä vertailtiin keskenään ja kokeiltiin jälkikäsitteilyn vaikutusta linssin kirkkauteen. Jälkikäsitteilynä käytettiin lämpökäsittelyä, mekaanista hiontaa, lakkausta sekä hionnan ja lakkauksen yhdistelmää.

Tutkimusta varten oli käytettävissä Savonlinnan Elektroniikan 3K-tehtaalla 3D-tulostimet miniFactory Ultra ja BCN3D Sigma R19. Lisäksi tutkimuksessa käytetään Flir-lämpökameraa. 3D-tulostusohjelmistoina olivat käytössä BCN3D Cura, Ultimaker Cura sekä Simplify3D. 3D-mallinnusohjelmistona käytettiin Autodesk Inventoria.

## LÄMPÖÄ JOHTAVAT 3D-TULOSTUSMATERIAALIT

Markkinoilla on muutamia 3D-tulostukseen kehitettyjä muovipohjaisia materiaaleja, jotka ovat lämmönjohto-ominaisuuksiltaan normaaleja 3D-tulostusmuoveja parempia. Lisäksi on mahdollista 3D-tulostaa metalleja, kuten alumiinia, joka on entuudestaan paljon käytetty materiaali jäähdytysratkaisuissa. 3D-tulostettavia muoveja tutkittaessa löydettiin markkinoilta tuote kauppanimellä TCPoly Ice9 Rigid. Tätä tuotetta mainostetaan markkinoiden parhaana lämpöä johtavana 3D-tulostettavana tulostuslankana. TCPolylle ei markkinoilta juuri kilpailijoita löytynyt, joten päädyttiin testaamaan sitä. Kyseisellä valmistajalla on myös kaksi muuta lämpöä johtavaa materiaalia, toinen on joustava Ice9 Flex TPU materiaali ja toinen erittäin korkeita lämpötiloja kestävä Ice9 Aero PEKK.

Lämpöä johtavia muoveja voidaan valmistaa lisäämällä 3D-tulostettavan muovin sekaan sopiva määrä jotain lämpöä paremmin johtavaa lisäainetta, kuten grafiittia, kuparia tai nikkeliä. Lisättävä materiaali on yleensä erittäin hienojakoista jauhetta, ja sen määrän on oltava sopivan alhainen, jotta seoksen 3D-tulostusominaisuudet säilyvät (Mamunya ym. 2002, Lazarov ym. 2018).

Uuden tulostusmateriaalin testauksessa ensimmäinen tehtävä on sopivien tulostusparametrien etsiminen. TCPoly Ice9 Rigid -filamentin suhteen lähdettiin liikkeelle jo olemassa olevan PA Carbon -filamentin tulostusprofiilista, koska molemmat materiaalit ovat polyamidipohjaisia. Tulostuslämpötilana käytettiin alkuun liian matalaa arvoa, mikä johti muun muassa tulostuksen keskeytymiseen. Tässä vaiheessa filamenttivalmistaja ehdotti suuttimen lämpötilan nostamista korkeammaksi 290 °C:seen. Toimivien tulostusasetusten löytyttyä valmistimme tutkimuksen kohteena olleen LED-valaisimen alumiiniselle jäähdytyslevylle vertailukappaleita, jotka mallinnettiin Autodesk Inventorilla alkuperäisen alumiiniprofiilin pohjalta.

Yleisin jäähdytyselementeissä käytettävä materiaali on alumiini. Alumiinia ja erilaisia alumiiniseoksia voidaan myös 3D-tulostaa, mikä mahdollistaa geometrialtaan lämmönjohtavuuden kannalta optimoitujen jäähdytyselementtien valmistuksen, joita ei välttämättä kyetä muilla menetelmillä tekemään. 3D-tulostettavia metalleja ovat myös kupari, työkaluteräs, ruostumaton teräs, titaaniseokset, nikkelseokset ja kobolttikromiseokset (Varotsis 2020).

## JÄÄHDYTYSELEMENTTIEN TESTAUS JA VERTAILU

Tutkimuksessa vertailtiin alumiinista perinteisillä menetelmillä valmistettua jäähdytyselementtiä LED-valaisimelle sekä alumiinisen jäähdytyselementin pohjalta itse mallinnettua ja 3D-tulostimella valmistettuja jäähdytyselementtejä ABS sekä ”TCPoly Ice9 Rigid”-muoveista. Ice9 Rigid -muovimateriaalista valmistettiin testaukseen 3D-tulostamalla kaksi jäähdytyselementtiä: toinen 0,5 mm:n suuttimella ja toinen 0,8 mm:n suuttimella. Kuvassa 1 on esitettyinä kolme tutkimuksen puitteissa valmistettua muovista jäähdytyselementtiä. Kuvan 1 jäähdytyselementeistä on selkeästi havaittavissa ainakin 0,8 mm:n ja 0,5 mm:n suutinkokojen erot tulostuspinnan laadussa.



**KUVA 1.** Vasemmalla TCPoly Ice9 Rigid -materiaalista 0,8 mm:n suuttimella 3D-tulostettu, keskellä samasta materiaalista 0,5 mm:n suuttimella 3D-tulostettu ja oikealla ABS-muovista 0,4 mm:n suutinkoolla 3D-tulostettu jäähdytyselementti (kuva Eetu Huttunen).

Kaikkien jäähdytyselementtien testaus toteutettiin vastuksen avulla. Kaksi vastusta asennettiin jäähdytyselementtiin keskelle LED-kortin paikalle. Vastukset kytkettiin sarjaan ja kiinnitettiin jäähdytyselementtiin 3D-tulostetun kiinnityspannan avulla. Vastuksien ja jäähdytyselementtien välissä käytettiin johteena piitahnaa. Jokaisen jäähdytyselementin kohdalla asennus toteutettiin samalla tavalla. Tämän jälkeen jäähdytyselementit testattiin samalla teholla ja tarkkailtiin samanaikaisesti jäähdytyselementtien lämpenemistä lämpökameran avulla.

Vakiotehotestaukseen laitettiin ensimmäisenä ABS-muovista valmistettu jäähdytyselementti. Tämän testin perustella etsittiin teho, jolla ABS-jäähdytyselementti lämpeni 120

°C:n lämpötilaan. Tämän jälkeen kaikki testauksessa mukana olleet jäähdytyselementit testattiin ja kuvattiin lämpökameralla 3,6 W:n teholla. Alumiinisen ja Ice9 Rigid -materiaalista valmistettujen jäähdytyselementtien kohdalla mitattiin myös tehot, joilla vastukset kuumenivat niidenkin kohdalla 120 °C lämpöön.

Näiden lisäksi testattiin alumiinista ja Ice9 Rigid -materiaalista valmistettua jäähdytyselementtiä kyseiseen valaisimeen kuuluvalla LED-kortilla. Nämä testaukset tehtiin yhdellä teholla. Teho määritettiin lämpökameran ja lämpötila mittarin avulla siten, että LED-kortin pinnalle saatiin noin 90 °C:n lämpö kullakin jäähdytyselementillä.

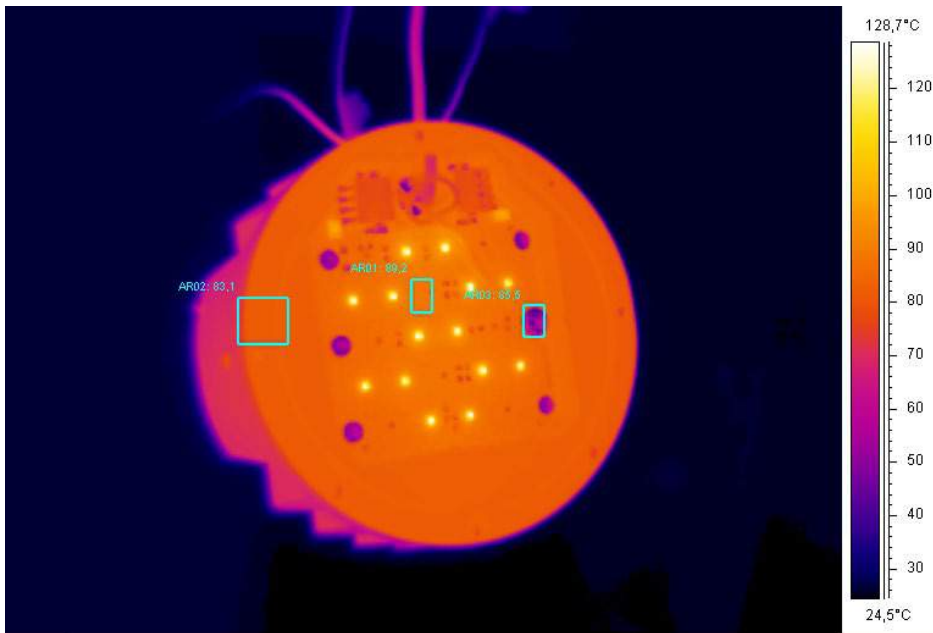
## TULOKSET JÄÄHDYTYSELEMENTTIEN TESTAUKSESTA

Jäähdytyselementit testattiin kaikki vastuksien avulla samalla 3,6 W:n teholla (taulukko 1) sekä teholla, jolla vastuksen lämpötila saavutti arvon 120 °C. Tämä jälkimmäinen teho riippui siis jäähdytyselementin jäähdytysominaisuuksista. Lisäksi alumiinista valmistettu jäähdytyselementti sekä TCPoly Ice9 Rigid -materiaalista valmistetut jäähdytyselementit testattiin myös valaisimeen kuuluvalla LED-kortilla. Jäähdytyselementtien testauksessa hyödynnettiin teholähdettä, yleismittaria, lämpökameraa, lämpömittaria, tehovastuksia sekä tietokonetta lämpökameraohjelmiston käyttöön ja kuvien tallentamista varten.

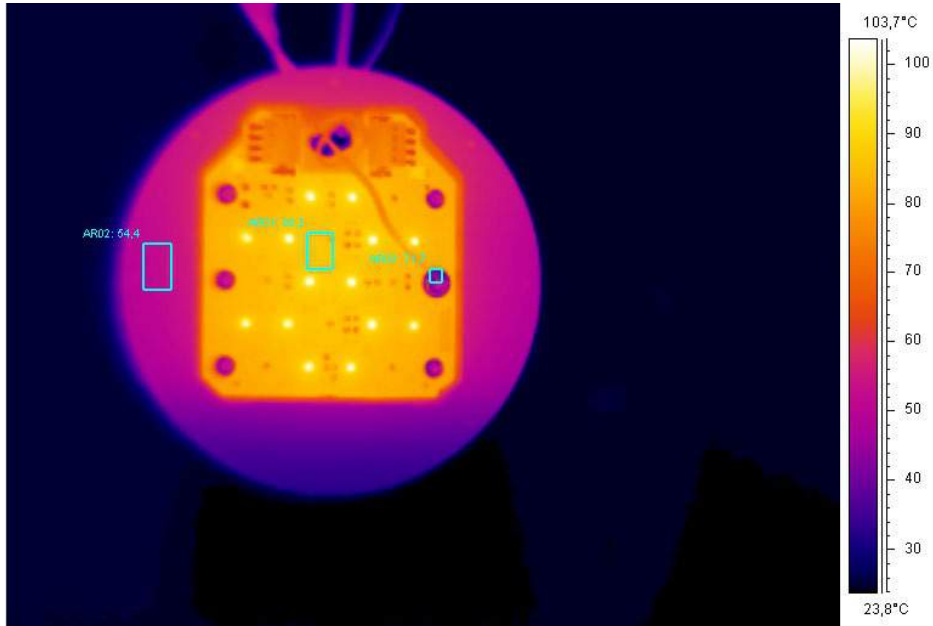
**TAULUKKO 1.** Kaikki jäähdytyselementit testattuna samalla teholla.

Materiaali	Virta [mA]	Jännite [V]	Lämpötila [°C]	Teho [W]
<b>ABS</b>	469,4	7,76	122,8	3,64
<b>Ice9 Rigid_0,5mm</b>	469,3	7,73	84,3	3,63
<b>Alumiini</b>	469,3	7,71	58,9	3,62
<b>Ice9 Rigid_0,8mm</b>	473,2	7,61	88,0	3,60

Tehtyjen mittausten ja lämpökamerakuvien perusteella tehtiin havainto, että TCPoly Ice9 Rigid -materiaalista valmistettu jäähdytyselementti johtaa lämpöä selkeästi paremmin kuin ABS-muovista valmistettu. Alumiinista valmistettu jäähdytyselementti oli kuitenkin paras (kuva 2). TCPoly Ice9 Rigid -materiaalista valmistettu jäähdytyselementti (kuva 3) asettuu lämmönjohtavuusominaisuuksiltaan alumiinisen ja ABS-muovista valmistetun jäähdytyselementin puoliväliin.



**KUVA 2.** Alumiininen jäähdytyslementti LED-kortilla kuvattuna edestäpäin (kuva Eetu Huttunen).



**KUVA 3.** TCPoly Ice9 Rigid -materiaalista valmistettu jäähdytyslementti LED-kortilla kuvattuna edestäpäin (kuva Eetu Huttunen).

## KIRKKAAN LINSSIN 3D-TULOSTAMINEN

Tässä luvussa tutkitaan valaisimen etulevyn/linssin valmistamista pursotusmenetelmällä (FDM) 3D-tulostusta hyödyntäen sekä pohditaan mahdollisesti tähän sovellukseen sopivia muita 3D-tulostusteknologioita. Valaisimen linssin/etulevyn valmistus 3D-tulostamalla asettaa haasteita läpinäkyvyyden ja valon läpäisevyyden kannalta. FDM eli ”fused deposition modelling” perustuu kerroksittain tapahtuvaan filamentin pursotukseen tietyn kokoisen suuttimen läpi. Tämä tulostustapa ei ole linssin valmistuksen kannalta välttämättä paras mahdollinen, koska kerroksittain tapahtuva tulostus saattaa jättää kerroksien väliset rajapinnat sumeaksi, vaikka tulostettava materiaali olisi kirkasta ennen tulostusta. Tämä johtuu osittain kerroksien ja pursotettujen tulostusviivojen väliin jäävästä ilmasta.

Tämän haasteen ratkaisemiseksi on kuitenkin mahdollista tulostuksen jälkeisen kappaleen jälkikäsittelyn avulla parantaa linssin läpinäkyvyyttä ja sitä kautta valon läpäisevyyttä. Jälkikäsittelyä FDM-tulostetuille linseille voi tehdä pinnan hionnan ja lakkauksen avulla. Lisäksi kappaletta voidaan kuumentaa sopivalla lämpötilalla, jolloin tulostuskerrokset tarttuvat paremmin toisiinsa ja sitä kautta kappale muuttuu läpinäkyvämmäksi (Wonjin ym. 2018). Lisäksi voidaan tulostusasetuksia muuttamalla saada kappaleiden kirkkauden suhteen parempia tuloksia. Tällaisia tulostusasetuksia, joilla voidaan vaikuttaa FDM-tulostettujen kappaleiden kirkkauteen, ovat kerroskorkeus, jäähdytys, retraction-asetukset, coating-asetukset, flowrate, tulostussuuttimen, alustan ja kammion lämpötilat sekä suutinkoko.

Linssien valmistuksen kannalta kuitenkin lupaavampia tulostustapoja voisivat olla valokotvetus altaassa (SLA/DLP) tai materiaalin suihkutus (material jetting). SLA- ja DLP-tulostustekniikat perustuvat nesteen fotopolymeerisointiin, eli käytännössä kappale kovetetaan UV-valon avulla nestemäisestä materiaalista kiinteäksi. Tämän tulostustavan etuna on, ettei tulostuskerroksien välisiä rajapintoja erota ja kappale on yhtenäisempi. Kappaleen pinnanlaadusta saadaan myös parempi tällä tulostustavalla.

Pursotusmenetelmällä 3D-tulostettiin Formfuturan valmistamaa ”HD glass” -kauppanimellä tunnettua modifioitua PETG-materiaalia. Tälle tulostusmateriaalille ilmoitetaan jopa 90 %:n optinen valon läpäisy. Kuitenkin tulostettaessa materiaalia normaaleilla valmistajan suosittelimilla asetuksilla kappaleista ei saada niin kirkkaita. Tämän tutkimuksen tekijät keksivät kuitenkin muuttaa tulostusasetuksia kerroskorkeuden osalta matalammaksi (0,025–0,05 mm) ja flowrate-arvoon 107 %. Lisäksi retraction, cooling sekä coating laitettiin pois päältä. Tulostuslämmöt olivat suuttimelle 260 °C ja tulostusalustalle 80 °C. Tulostimena toimi BCN3D Sigma R19.

Tutkimuksen toiseksi tulostuslangaksi valikoitui Verbatim Durabio -kauppanimellä myytävä tulostusmateriaali. Tämä materiaali on Mitsubishi Chemicalsin valmistama ja kehittämä 3D-tulostusmateriaali, joka on Mitsubishin mukaan yhdistelmä PMMA:n ja PC:n tulostus-

ja käyttöominaisuuksia. Durabio on materiaalina biopohjainen ja täysin BPA-vapaa. Tämän materiaalin ominaisuuksina mainostetaan hyvää UV-valon kestoja, korkeiden lämpötilojen sietokykyä ja hyviä optisia sekä mekaanisia ominaisuuksia, kuten iskunkestävyyttä.

Ensimmäisien tulosteiden perusteella Durabio ei olisi FDM-tulostimella (miniFactoryn Ultra) tulostettuna aivan yhtä kirkasta kuin HD glass (kuva 4). Muutamien erilaisien tulostusasetusten ja säätöjen testauksen jälkeen voidaan sanoa, että Verbatim Durabio -materiaalista tulostettujen linssien kirkkaus ei yllä silmämääräisellä tarkastelulla lähellekään HD glass -materiaalin tasoa. Verbatim Durabio -materiaalista tulostetut linssit ovat silmämääräisesti ns. maitolasimaisia. Kuvassa 4 on esitettyinä neljä FDM-teknologialla tulostettua linssiä, kaksi HD glass -materiaalista ja kaksi Verbatim Durabio -materiaalista. Kaikki linssit on tulostettu 0,05 mm:n kerroskorkeudella ja 0,4 mm:n suutinkoolla. Kuvasta 4 voidaan havaita erot eri materiaalista valmistettujen linssien välillä sekä myös hionnan ja lakkauksen vaikutukset.



**KUVA 4.** FDM-tulostetut LED-valaisimen suorat etulevyt/linssit. Kuvassa vasemmalla ylhäällä 0,05 mm:n kerroskorkeudella tulostettu linssi HD glass -materiaalista ja vasemmalla alhaalla sama, mutta hiottuna ja lakattuna. Oikealla ylhäällä 0,05 mm:n kerroskorkeudella Durabio-materiaalista tulostettu linssi ja oikealla alhaalla sama, mutta hiottuna ja lakattuna. (kuva Eetu Huttunen)

## LINSSIEN VALOVOIMAKKUUSMITTAUKSEN TULOKSET

Tutkimuksessa 3D-tulostettiin viisi linssiä HD glass -materiaalista ja kaksi linssiä Verbatim Durabio -materiaalista. HD glass -linseistä kolme valmistettiin 0,05 mm:n kerroskorkeudella ja yksi linssi tulostettiin 0,025 mm:n kerroskorkeudella sekä yksi linssi 1,0 mm:n suuttimella ja 0,3 mm:n kerroskorkeudella. Yksi 1 mm:n suuttimella valmistettu linssi tehtiin vielä vertailukappaleeksi, koska haluttiin kokeilla myös nopeampaa linssin valmistusta ja sitä, kuinka se vaikuttaa linssin kirkkauteen. Tämä 1 mm:n suuttimella ja 0,3 mm:n kerroskorkeudella tulostettu linssi oli jo silmämääräisesti tarkasteltuna selkeästi heikoin läpinäkyvyydeltään. Kolmesta 0,05 mm:n kerroskorkeudella tehdystä linssistä yhteen tehtiin hionta (karheudet 240, 600, 1000, 1500 ja 2000) sekä lakkaus kirkkaalla akryylilakalla. Verbatim Durabio -materiaalista valmistettiin kaksi linssiä kerroskorkeudella 0,05 mm. Toiselle 0,05 mm:n kerroskorkeudella tulostetulle Verbatim Durabio -linssille tehtiin myös samanlainen hionta ja lakkauskäsittely kuin yhdelle HD glass -materiaalista valmistetulle linssille. Testaukseen otettiin lisäksi vertailukappaleeksi 6 mm:n polykarbonaattilevy, joka on samaa materiaalia kuin valaisimen alkuperäinen etulevy, mutta alkuperäistä etulevyä paksumpi.

Taulukossa 2 on esitettyä edellä mainittujen LED-valaisimen linssien/etulevyjen valovoimakuusmittauksen tulokset. Lisäksi taulukossa 2 on mainittuna LED-valaisimen luxarvo mitattuna ilman etulevyä. Mittauksessa LED-valaisimen ja luxmittarin välimatkana oli kiinteästi 150 cm. LED-valaisimen etulevyä vaihdettiin käsin valaisimen eteen ja luxmittarin arvot kirjattiin ylös. Linssien/etulevyjen mittaukset suoritettiin kumminkin päin linssiä kääntäen.

**TAULUKKO 2.** Linssien valovoimakuusmittausten tulokset.

Linssi	LUX-arvo tulostuspedin pinta ledejä vasten [lx]	LUX-arvo toisin päin [lx]
Ilman linssiä	266 lx	
Käsitelty Durabio	233	277
Durabio	240	287
Käsitelty HD glass	251	251
HD glass	257	257
HD glass 0,025 mm	253	257
6 mm paksu PC-levy	237	236
HD glass 1 mm:n suutin	202	246

Linssien valovoimakuusmittauksen tulokset osoittavat, että HD glass -materiaalista tulostetut linssit sekä hionnalla ja lakkauksella jälkikäsiteltynä että ilman jälkikäsitelyä ovat valon läpäisevyyden kannalta todella hyviä lukuun ottamatta 1,0 mm:n suutinkoolla ja 0,3 mm:n



kerroskorkeudella tulostettua linssiä. Tämän mittauksen perusteella voidaan myös tehdä johtopäätös, että lakkauksen ja hionnan vaikutus 0,05 mm:n kerroskorkeudella tulostetun HD glass -linssin valonläpäisevyyteen on käytännössä merkityksetön. Lakkauksen parantava vaikutus toisaalta HD glass -materiaalilla tulostetuille linseille olisi UV-valon kestävyuden lisäys. HD glass -materiaalista tulostetulla 0,05 mm kerroskorkeuden linseillä ei myöskään havaittu olevan suurta eroa, kummin päin linssi asennettiin led-valaisimen eteen, mikä osaltaan kertoo kappaleen olevan rakenteeltaan tasalaatuista ja pintojen tarpeeksi tasaisia.

Linssin asennussuunnalla puolestaan havaittiin suuri merkitys Durabio-materiaalista tulostetuilla linseillä sekä valaistusvoimakkuudessa että myös valokeilan koossa. Durabio-materiaalista valmistettujen linssien suuret valovoimakkuuden huippuarvot tulostuspedin pinta ulospäin tehdyssä mittauksessa selittyvät osaltaan sillä, että nuo linssit kokoavat valoa, joka näkyy valokeilan koosta. Tämä havainto kertoo osaltaan, että Durabio-materiaalista valmistetut linssit eivät ole rakenteellisesti täysin yhtenäisiä/tiiviitä, mikä on myös silmämääräisesti havaittavissa tulostettujen linssien sameutena ja maitomaisuutena.

## YHTEENVETO

Tutkimuksessa 3D-tulostettiin onnistuneesti lämpöä johtavaa muovia. Tämä materiaali sijoittui tutkimuksessa olevien vertailumateriaalien ABS-muovin ja alumiinin välille. Kuitenkaan rakenteeltaan 3D-tulostetut jäähdytys-elementit eivät olleet optimoituja, vaan ne vastasivat olemassa olevaa alumiinista valmistettua jäähdytys-elementtiä. Optimoidulla rakenteella olisi voitu saavuttaa lämmönjohdon kannalta parempi jäähdytys-elementti 3D-tulostettavasta muovista. Tähän optimointiin ei kuitenkaan ollut käytettävissä oikeanlaisia ohjelmia tämän tutkimuksen puitteissa.

Lisäksi saatiin tulostettua FDM-tekniikalla ennakko-oletuksiin nähden yllättävän kirkkaita linsejä. Parhaiten onnistuivat Formfutura HD glass -materiaalista 0,4 mm:n suuttimella ja 0,05 mm kerroskorkeudella tulostetut linssit sopivien tulostusasetuksien kanssa tulostettuna. HD glass -materiaalin lisäksi testattiin Mitsubishi Chemicalsin kehittämää kirkasta materiaalia Durabio, josta tulostetut linssit olivat enemmän sameita ja maitomaisempia. Durabio-materiaalista tulostetut linssit eivät olleet tehdyissä valaistusvoimakkuusmittauksissa HD glass -linssien tasoisia niiden valokeilan kokoa pienentävän ominaisuuden vuoksi.

Jäähdytys-elementtien 3D-tulostuksen kannalta voisi tulevaisuudessa olla järkevää kokeilla, mihin TCPoly Ice9 Rigid -materiaali yltää, jos 3D-malli olisi lämmönjohtavuuden näkökulmasta optimoitu. Lisäksi tämän tutkimuksen jatkoksi olisi mielenkiintoista tutkia 3D-tulostettavien metallien hyödyntämistä jäähdytys-elementeissä sekä näiden metallista tulostettavien jäähdytys-elementtien 3D-mallien optimointia ja sen vaikutusta jäähdytys-elementin toimintaan.

3D-tulostettavien valaisimien linssien/etulevyjen jatkotutkimuksena voitaisiin tulostaa FDM-tulostimella hiukan ulkopinnaltaan kupera LED-valaisimen etulevy. Tällä kuperalla etulevyllä voisi olla ainakin valaisimen ulkokäytössä ollessa etuja veden ja lian poisvalumisen suhteen. Tulevaisuuden kannalta voisi olla kiinnostavaa mahdollisesti kokeilla myös SLA/DLP-tulostusmenetelmillä vastaavien linssien tulostamista ja näiden vertailua FDM-tulostettuihin linssisiin.

## LÄHTEET

Mamunya Ye, Davydenko V.V.; Pissis P.; Lebedev E.V. 2002. Electrical and thermal conductivity of polymers filled with metal powders. *European Polymer Journal* 38. 1887–1897.

Lazarov Boyan, Sigmund Ole, Meyer Knud Erik & Alexandersen Joe 2018. Experimental validation of additively manufactured optimized shapes for passive cooling. *Applied Energy* 226. 330–339.

Varotsis Alkaios Bournias 2020. Introduction to metal 3D printing. Saatavissa: <https://www.3dhubs.com/knowledge-base/introduction-metal-3d-printing/>

Wonjin Jo, O-Chang Kwon & Myoung-Woon Moon 2018. Investigation of influence of heat treatment on mechanical strength of FDM printed 3D objects. *Rapid Prototyping Journal* 24. 637–644.

# CLT-RAKENTEISEN PILARI-LAATAN FEM-LASKENTA JA PILOTOINTI

Mikael Sykiäinen & Henna Lindqvist & Tero Lahtela & Kimmo Varis

Savonlinnan teknologiapuistoon suunnitellaan puurakentamisen laboratoriorakennusta, ja tarkoituksena on kehittää massiivipuurakentamista. Rakennus aiotaan toteuttaa pitkälti puurakenteisena, ja osana tätä kokonaisuutta tutkitaan toimisto-osan uudenlaista välipohjarakennetta CLT-rakenteisena pilari-laattarunkona. Rakenteen käyttäytymistä tutkittiin FEM-laskelmilla.

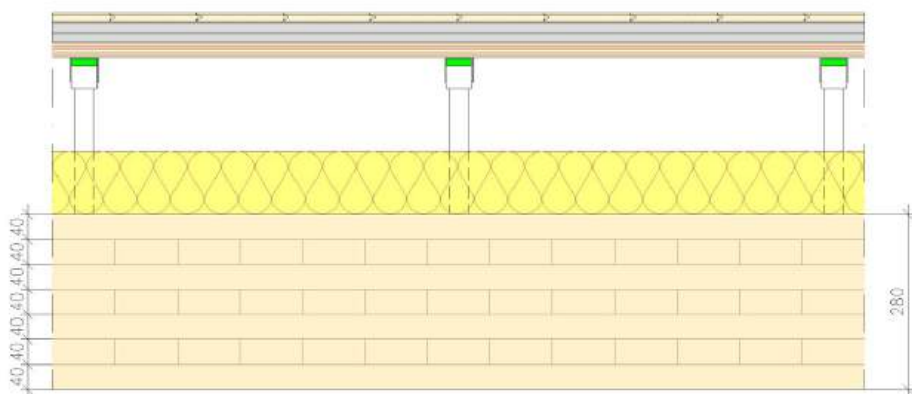
Suuren mittakaavan teollisen puurakentamisen mallinnus- ja pilot-kohteet on suunniteltu yhteistyössä Insinööritoimisto Lahtela Oy:n sekä alan muiden toimijoiden kanssa. Puurakentamisen laboratorio – puurakenteiden pilot-kokeet ja mallinnukset -hankkeessa rahoittajina toimivat ympäristöministeriö ja Xamk. FEM-mallinnuksen toteutti Stressfield Oy.

## JOHDANTO

CLT-rakenteisella pilari-laatalta tarkoitetaan runkojärjestelmää, jossa CLT-levyistä toteutettu laatasto tukeutuu suoraan pilareihin ilman palkkeja. Pilarit voivat olla puu-, teräs- tai betonirakenteisia. Perinteisesti puurakenteinen laatasto tukeutuu palkkeihin tai kantaviin seiniin, koska puurakenteiset laatat ovat pääsääntöisesti yhteen suuntaan kantavia. CLT-levystä toteutettu laatasto poikkeaa kuitenkin perinteisestä, koska CLT-levyn ristikkään laminoitunut rakenteen ansiosta sillä on laattana kyky kantaa kuormia sekä levyn pituus- että poikittaissuunnassa. Pilari-laatta on runkojärjestelmänä yksinkertainen, sillä palkkien sekä pilarien ja palkkien välisten voimaliitosten puuttuessa saadaan materiaali- ja työaikasäästöä.

CLT-pilari-laattarungon käyttäytymisestä ja suunnittelusta on vielä hyvin vähän tietoa saatavilla. Maailmalla on toteutettu vain muutamia CLT-levyyn perustuvia pilari-laattarunkoja, joten kyseinen runkojärjestelmä on puurakenteisena varsin uusi keksintö.

Tässä artikkelissa kerrotaan CLT-rakenteisen pilari-laatan FEM-mallinnuksesta ja täyden mittakaavan prototyypin valmistuksesta. Niiden avulla tulevan laboratoriorakennuksen toimisto-osan välipohjarakenteen toimivuutta voitiin varmistaa.



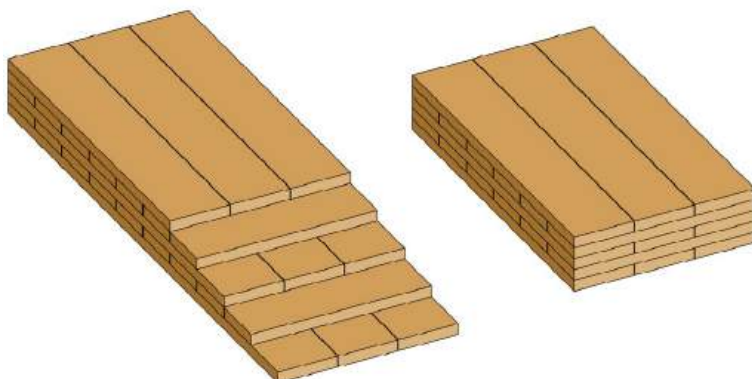
**KUVA 1.** Toimistotilan lattiarakenne (kuva Insinööritoimisto Lahtela Oy).

## CLT-LEVY

CLT (Cross Laminated Timber) on insinööripuutuote, joka muodostuu toisiinsa nähden ristiin liimatuista levyistä. CLT tunnetaan Suomessa myös nimillä ristiin liimattu monikerroslevy ja ristiin liimattu lautalevy. Sen raaka-aineena käytetään useimmin kuusta tai mäntyä. (Monikerroslevy s.a.)

Levyihin käytetyt laudat ovat lujuuslajiteltuja sekä sormijatkettuja. Yleisemmin levyrakenteessa on kolme tai viisi kerrosta, mutta levykerroksia voi olla useampikin. Rakenteensa takia se on luja, jäykkä ja ominaisuuksiinsa nähden kevyt rakennusmateriaali. Levyjen tekniset ominaisuudet sekä rakenteiden mitoitus ovat valmistajakohtaisia. (Monikerroslevy s.a.)

CLT-levyä pystytään esivalmistelemaan pitkälle. Kun levyt on liimattu, voidaan ne työstää oikean kokoisiksi ja muotoisiksi. Levyihin pystytään tekemään kaikki tarvittavat aukot, kuten ikkunat, ovet ja talotekniikan lävistykset, valmiiksi jo tehtaalla. CLT-levyjä voidaan käyttää kantavina ja jäykistävinä rakenteina lattioissa sekä seinissä kuten myös ei-kantavina rakenteina. (Monikerroslevy s.a.)



**KUVA 2.** CLT-levyn rakenne (kuva Henna Lindqvist).

## MITÄ ON FEM-MALLINNUS?

FEM-mallinnus (Finite Element Method) on elementtimenetelmällä tietokoneohjelmiston avulla suoritettua teknistä laskentaa, jossa rakenteen muoto, materiaalin käytön optimointi sekä rakenteen kestävyys varmennetaan (Stressfield Oy, s.a.).

Laskenta on luonteeltaan lineaarista tai epälineaarista, joista lineaarinen laskentamenetelmä on yleensä selvästi nopeampi ja helpompi suorittaa. Vaativissa analyyseissä epälineaarinen laskentamenetelmä antaa todenmukaisempia tuloksia. (Vertex Systems Oy, 2015). Tässä tutkimuksessa FEM-laskenta suoritettiin lineaarisella analyysillä.

FEM-mallintamisen yleisinä etuina ovat muun muassa rakenteen tutkiminen kokonaisvaltaisesti riippumatta sen materiaalista, muodosta, valmistusmenetelmästä tai siitä, löytyykö jännityksille, siirtymille tai ominaistaajuuksille analyyttisiä laskentakaavoja. Myös yksittäisiä kuormituksia ja muita parametreja, esimerkiksi siirtymäreunaehtoja, voimia tai jäykkyyksiä, pystytään varioimaan nopeasti ja näin aikaansaamaan kuva rakenteen käyttäytymisestä hyvin kustannustehokkaasti.

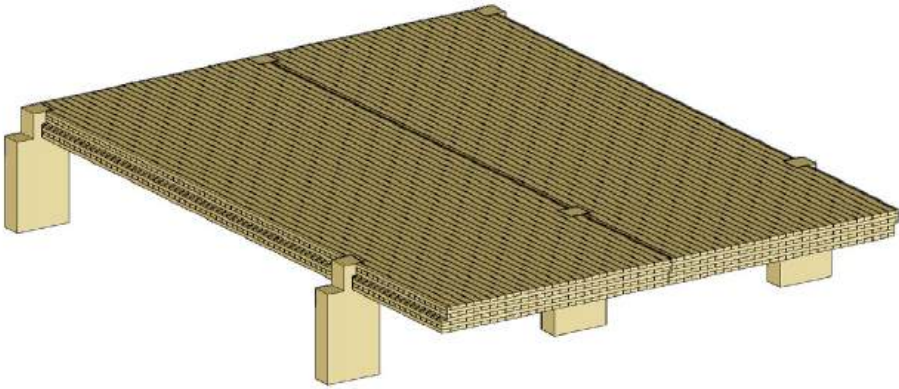
Kaupalliset FEM-ohjelmistot sisältävät laajan valikoiman elementtityyppejä, joista jokainen perustuu vastaavaan lujuusopin teoriaan. Vakiintuneita peruselementtityyppejä on noin kaksikymmentä, joita käytetään laskennassa eniten. Jokainen elementtityyppi sisältää oletuksia ja rajoituksia, joiden takia lujuusopin ja elementtimenetelmän teorian tuntemus on välttämätöntä laskennan onnistumisen ja tulosten tulkintojen kannalta. (Lähteenmäki, 2014)

## FEM-MALLINNUKSEN VALMISTELU

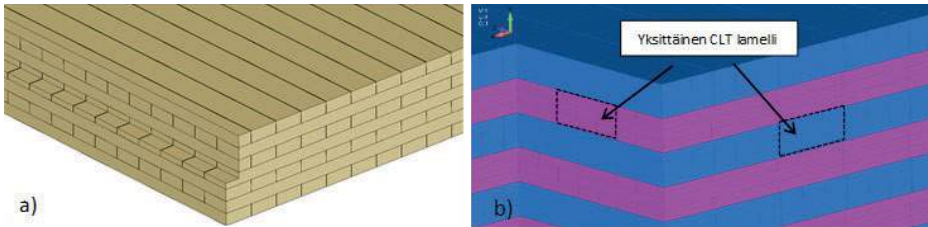
Lähtötietoina FEM-mallintamiseen annettiin muun muassa:

- pilari-laatan geometriatiedot
- kuormitustiedot
- osavarmuuskertoimet
- mitoitusehtojen raja-arvot
- CLT-levyn lamellirakenne
- CLT-levyn lujuus- ja jäykkyystiedot

Kuvassa 3 on esitetty CLT-pilari-laatan mallinnuskuva, jonka pohjalta FEM-mallinnus suoritettiin.



**KUVA 3.** Pilari-laatan geometriatiedot ja lamellirakenne FEM-mallinnukseen (kuva Insinööritoimisto Lahtela Oy).



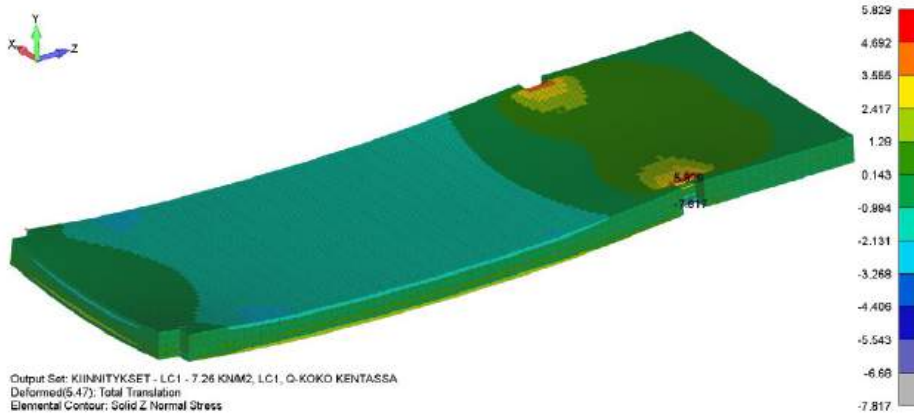
**KUVA 4a** (vasen). CLT-levyn jokainen lamelli mallinnettiin ja lamellien väliin jätettiin 1 mm:n rako (syrjäliimaamaton levy) (kuva Insinööritoimisto Lahtela Oy). Kuva 4b (oikea). CLT-levyn yksittäisten lamellien mallinnus (kuva Stressfield Oy).

Laskentaohjelmistona käytettiin kaupallista Simcenter Femap v.2020.1.0. -ohjelmistoa, joka soveltuu muun muassa staattisiin, lineaarisiin ja epälineaarisiin jännitysanalyysihin, ominaisvärähtelylaskentoihin, stabiiliteetin tutkimiseen, lämmönjohtumisanalyysihin ja myös erilaisiin dynaamisiin ongelmiin, kuten taajuusvastelaskentoihin.

## TULOSTEN TARKASTELU

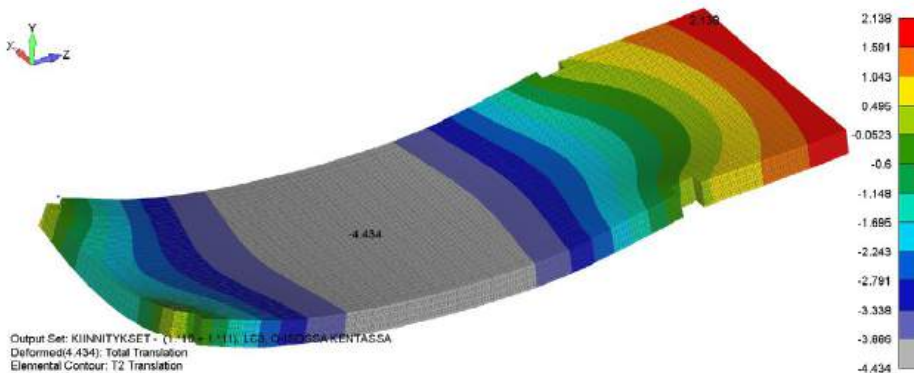
Laskentamallin tuloksista tarkasteltiin staattista kestävyyttä, taipumia sekä laatan värähtelykäyttäytymistä. Värähtelyä tutkittiin sekä 1 kN -pistekuormatapauksen että ominaistaajuusanalyysin avulla. Staattinen kestävyystarkastelu suoritettiin vertaamalla laatassa vaikuttavia jännityskomponentteja materiaalin sallittuihin arvoihin. Kuormituksena huomioitiin keskipitkässä aikaluokassa pintarakenteiden ja laatan omapaino sekä kaikki muuttuvat kuormat. Pysyvässä aikaluokassa mukaan otettiin kaikki pysyvät kuormat. Laatan mitoittavaksi tekijäksi osoittautui kävelyn aiheuttama värähtely. Mallinnuksen lähtöarvona käytettiin 280 mm paksua CLT-levyä, joka oli 7-kerroksinen ja koostui 40 mm:n paksuisista lamelleista. Kyseinen laatta täytti määräykset raja-arvojen suhteen, kuten oli arvioitukin,

eikä laskentaa tarvinnut toistaa paksummalle CLT-laatalle. Kuvassa 5 on esitetty laatan syyn suuntaiset normaalijännitykset keskipitkän aikaluokan kuormituksilla. Suurimmat syyn suuntaiset jännitykset laatussa esiintyvät, kun muuttuva kuorma vaikuttaa koko laatan alueella. Suurin puristusjännitys syiden suunnassa on  $-7,8$  MPa, ja suurin vetojännitys on  $5,8$  MPa. Vedon ja puristuksen laskentalujuuksia ei ylitetä puun syiden suunnassa.



**KUVA 5.** Veto-puristus-jännitykset puun syiden suunnassa [MPa]. Kuormituksena keskipitkän aikaluokan pysyvät sekä muuttuvat kuormat (kuva Stressfield Oy).

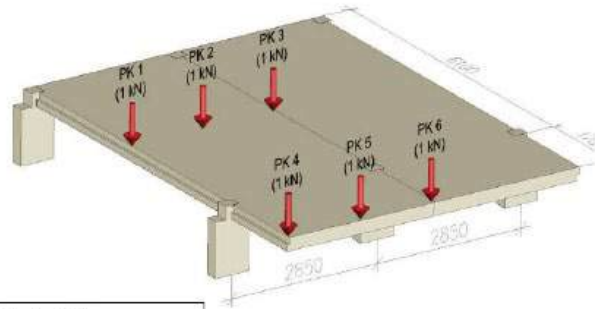
Laatan hetkellinen taipuma määritettiin erikseen pysyvälle ( $w_{inst,G}$ ) ja muuttuvalle kuormitukselle ( $w_{inst,Q}$ ). Taipumien summaa verrattiin hetkellisen taipuman raja-arvoon  $w_{inst} \leq L/400$ , jossa  $L$  on jänneväli. Lisäksi lopputaipuman ehto  $w_{fin} \leq L/300$  tarkastettiin. Kuvassa 6 on esitetty laattamallin hetkellinen taipuma pysyvän ja muuttuvan kuormituksen vaikutuksesta. Mallin suurin pystysuuntainen siirtymä  $4,4$  mm sijaitsee keskellä tukiväliä. Taipumalle asetettuja rajoja ei ylitetty.



**KUVA 6.** CLT-laatan hetkellinen taipuma [mm]. Kuormituksena pysyvät ja muuttuvat kuormitukset. Kuvan deformaatio on skaalattu kertoimella 100 (kuva Stressfield Oy).

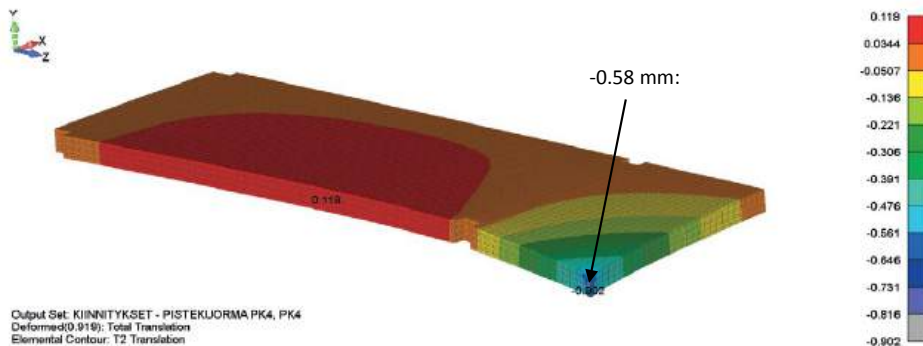
1 kN pistemäisen kuormituksen taipumatarkastelussa tapahtui vain hieman ylitystä laatan ulokkeen ulkoreunassa (PK4), jossa 1 kN:n pistekuorman aiheuttamaksi taipuma-arvoksi saatiin 0,58 mm (suurin sallittu raja-arvo 0,5 mm). Tämä ei kuitenkaan ollut käytännön kannalta olennaisesti merkittävää, sillä laatan ulkoreuna tulisi tukeutumaan kantaviin seiniin eikä näin ollen kyseistä taipumaa tapahtuisi. Kuormista PK 3 ja PK 6 puolet siirtyy viereiselle CLT-laatalle ponttisauman ja sen ruuvikiinnityksen välityksellä.

Kuormitus-tapaus	Taipuma [mm]
PK 1	0.22
PK 2	0.09
PK 3	0.11 <sup>1)</sup>
PK 4	0.58 <sup>1)</sup>
PK 5	0.27
PK 6	0.29 <sup>1)</sup>



- 1) Symmetriamallin siirtymä puolitettu taulukkoon
- 2) Ei ylity käytännössä (laatan reuna kiinnitetään seinään)

**KUVA 7.** Pistemäistä kuormitusta PK vastaavat pystysiirtymän arvot [mm]. Siirtymä on luettu laatan pohjapuolelta, jolloin pistevoiman aiheuttama paikallinen painuma ei häiritse tulosten tarkastelua (kuva Stressfield Oy, Insinööritoimisto Lahtela Oy).

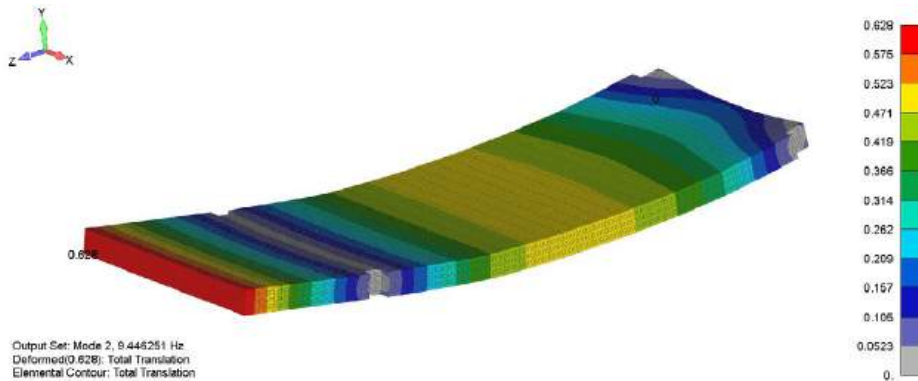


**KUVA 8.** Pistemäistä kuormitusta PK4 vastaava pystysiirtymä [mm] (kuva Stressfield Oy).

Alimmaksi ominaistajuudeksi FEM-laskennassa saatiin 9,4 Hz, joka täytti vaaditun 9 Hz raja-arvon. Värähtelyominaisuudet lattiassa määräytyvät pääosin jännevälin, pitkittäis- ja poikittaissuuntaisen jäykkyyden, massan sekä vaimennusominaisuuksien mukaan (Talja & Toratti, 2015). Mikäli ominaistajuus olisi ollut alle 9 Hz raja-arvon, olisi laatan jänneväliä täytynyt lyhentää vaatimusten täyttämiseksi. Pintarakenteiden, väliseiniä ja CLT-laatan massa oli yhteensä 296 kg/m<sup>2</sup>. Hyötykuorman pysyvän osan massa oli 30 kg/m<sup>2</sup>. Alim-



man ominaistajuuden määrittämisessä käytettiin massaa  $m_1 = 296 \text{ kg/m}^2 + 30 \text{ kg/m}^2 = 326 \text{ kg/m}^2$ . Puolimallin kokonaismassa oli laskennassa 7,25 tonnia. Ominaisaajuudet laskettiin sekä symmetrisellä puolimallilla että kokonaiseksi peilatulla mallilla, jotta muutkin kuin symmetriset muodot saatiin selvitettyä.



**KUVA 9.** Alinta ominaistajuutta (9,4 Hz) vastaava ominaismuoto, laatan symmetrinen puoliallotaivutus (kuva Stressfield Oy).

## TULOSTEN YHTEENVETO

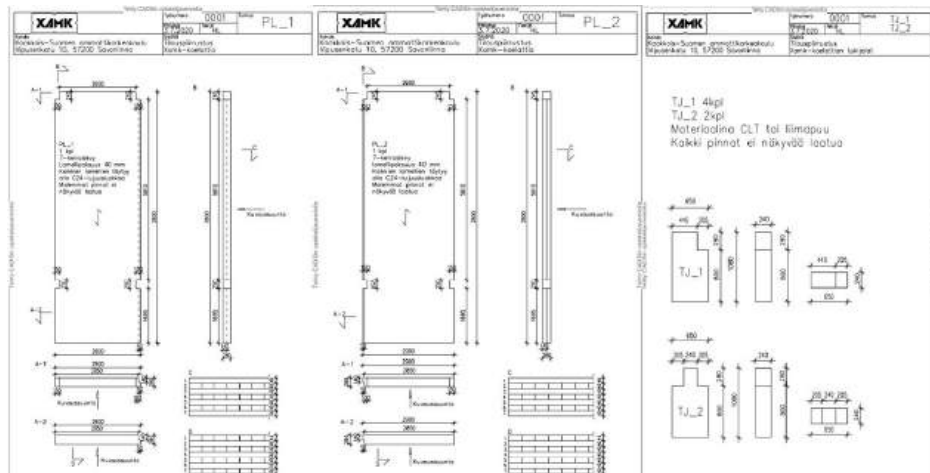
Laskennan johtopäätöksenä havaittiin laatan suurimpien jännitysten esiintyvän, kun muutuvat kuormitukset vaikuttavat koko laatan pinta-alalla. Sitä vastoin laatan suurimmat taipumat syntyvät, kun muuttuva kuorma vaikuttaa vain laatan tukien välisellä alueella ja laatan uloke on kuormittamaton. FE-analyysin perusteella puun syitä vastaan kohtisuoran puristusjännityksen sallittu arvo ylitettiin paikallisesti tukien läheisyydessä. Lisäksi pistekuormatapaukselle asetettu siirtymäraja-arvo 0,5 mm ylitettiin yhdellä pistekuormatapauksella. FE-menetelmä kykenee laskemaan myös rakenteen sisäiset jännitys jakaumat sekä sekundääriset jännityspiikit, jotka eivät tule esiin laskettaessa rakenteita analyttisin mitoituskaavoin. Näin ollen paikallisia jännityspiikkejä voidaan pitää enemmän laskentamenetelmän tuottamina kuin todellisina kestävyysongelmina. Laskentamallista puuttui ulkoseiniin tukeva vaikutus. Tämän takia laskentamallista saatu pistekuormatapauksen PK4 aiheuttama siirtymä on epätodellisen suuri. Laatan katsottiin täyttävän keskeiset mitoitusvaatimukset.

**TAULUKKO 1.** Yhteenveto FEM-tuloksista (Stressfield Oy).

Yhteenveto laskentatuloksista		
Tarkasteltava ominaisuus	Käyttöaste	Selostus
Taivutus	0,37	6,85/18,4
Veto syiden suunnassa	0,63	5,83/9,28
Veto syitä vastaan kohtisuorassa	2,35	Pistemäinen ylitys tuen vieressä (0.61/0.26)
Puristus syiden suunnassa	0,58	7,82/13,44
Puristus syitä vastaan kohtisuorassa	1,43	Pistemäinen ylitys tuen vieressä (2.28/1.6)
Leikkaus syiden suunnassa	0,13	0,34/2,56
Leikkaus syitä vastaan kohtisuorassa	0,41	0,34/0,83
Hetkellinen taipuma (L/400)	0,37	2,04/5,5
Lopputaipuma (L/300)	0,43	3,11/7,3
Värähtely (1 kN)	0,58	Käytetty suurinta todellista siirtymää PK6 (0.29/0.5=0.58)
Värähtely ( $f_1 = 9,4$ Hz)	0,95	9/9,44

## KOHTI PROTOTYYPPIÄ

Mallinnuksen pohjalta projektia on tavoitteena jatkaa prototyypin valmistamisella sekä tekemällä värähtelymittaukset, joilla varmistetaan mallinnuksen tulokset. Prototyypin valmistamiseen tarvittiin tilauskuvat (kuva 10), joiden avulla saadaan tarkka tieto, millaisia levyjä valmistetaan. Samalla prototyypin päätettiin yksinkertaistaa jättämällä laatan sivuissa ja tukijaloissa olevat ”ylimääräiset” ponttaukset pois.



**KUVA 10.** Tilauskuvat muodostuivat laattojen taso-, leikkaus-, tukijalkojen sekä CLT-rakenteen leikkauskuvista (kuva Henna Lindqvist).

Laatan valmistaja valittiin alhaisimman kokonaishinnan perusteella, jonka tarjosi Timberpoint Oy. CLT-laatta asennetaan/kootaan Timberpoint Oy:n tiloihin Loviisaan, jossa sille tehdään värähtelymittauksia.

## LÄHTEET

Monikerroslevy s.a. Puuinfo. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.puuinfo.fi/puutieto/insinooripuutuotteet/monikerroslevy> [viitattu 2.7.2020].

Stressfield Oy s.a. Lujuuslaskenta (FEM). WWW-dokumentti. Päivitetty 2020. Saatavissa: <http://stressfield.fi/erikoisosaaminen/lujuuslaskenta-fem/> [viitattu 25.6.2020]

Vertex Systems Oy. 2015. FEA-laskennan teoriaa. WWW-dokumentti. Päivitetty 20.5.2016. Saatavissa: <https://kb.vertex.fi/fea2017fi/tutustu-tarkemmin-ominaisuuksiin/yleiset-aiheet/fea-laskennan-teoriaa> [viitattu 25.6.2020]

Lähtenmäki, M. 2014. Elementtimenetelmän perusteet. PDF-dokumentti. Päivitetty 12.1.2014. Saatavissa: [https://mlahten.fi/arkistot/elpe\\_pdf/johdanto.pdf](https://mlahten.fi/arkistot/elpe_pdf/johdanto.pdf) [viitattu 15.7.2020].

# BIOGROWTH – IMAGING TECHNOLOGY ROADMAP

Jouni Tornberg & Lasse Pulkkinen & Matti Okkonen & Vili Kellokumpu  
& Ari Jäsberg

The Imaging Technology Roadmap was part of the Xamk's BIOGROWTH project funded by the Ministry of Economic Affairs and Employment of Finland. The project is aimed at the development of competitiveness in the South Savo region. Imaging is seen as an important technique in developing new opportunities for companies in the forest and nature sectors.

The roadmap reviews imaging technologies in general for the applications of Xamk Fiber-Laboratory. The field of imaging is vast and the focus in the study was to evaluate imaging methods which provide spatial information in a digital format and which could be potentially used to extract relevant information for FiberLaboratory processes and samples. In roadmap a vision of the longterm objectives to reach the defined goal is set. Then, based on the current state and technology trends, the development paths towards the vision are defined.

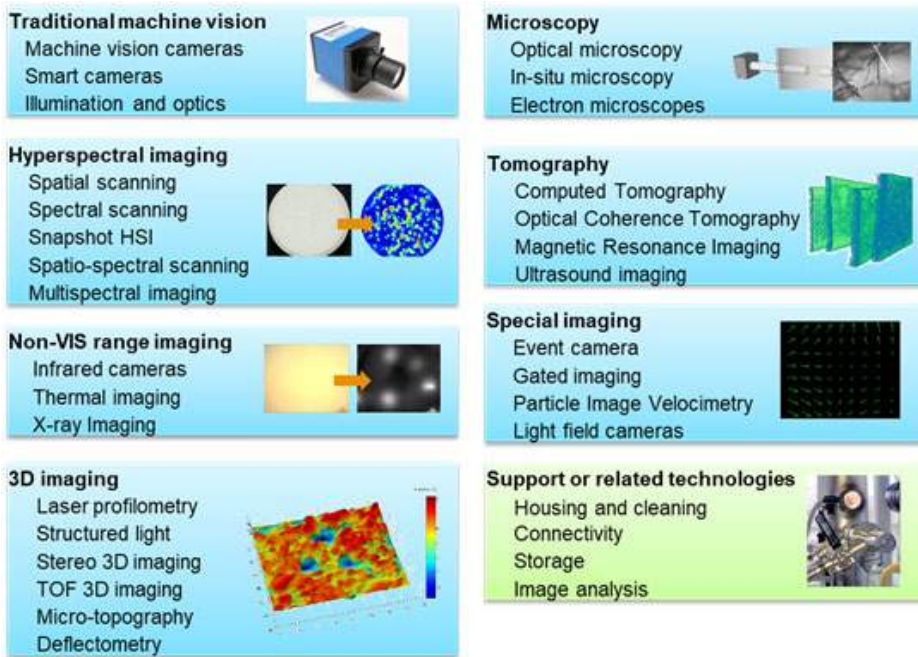
## INTRODUCTION

Imaging is a very broad and interdisciplinary field which covers a wide range of techniques that are used to create images of observed objects or phenomena. The most common type of imaging is optical imaging that uses light and properties of photons to obtain images. Optical imaging may utilise light in the ultraviolet, visible and infrared regions of the electromagnetic spectrum. In addition to light, radiation like x-rays can also be used. Computational imaging on the other hand use sensing systems and algorithms together in order to form the images of interest that cannot be observed directly.

Imaging technology is developing rapidly and the driving industries today include medical imaging, automotive and consumer electronics. For example in medical imaging low field MRI devices are being developed to lower the cost and to improve the patient experience. The emergence of autonomous driving is advancing the development of new sensors in the automotive industry. In consumer electronics the improvements in smart phone cameras have pushed camera technology towards higher pixel density and resolution while 3D sensing is being advanced by developments towards augmented and virtual reality. These big industries and mass markets drive technology development and lower the cost. This development in improving sensing capability and reducing cost enables new potential measurements in the industrial sector also, with a reasonable payback time.

# TECHNOLOGY MAP OF IMAGING TECHNOLOGIES

One aspect of the report was to review imaging technologies in general for the applications of the Xamk FiberLaboratory. The field of imaging is vast and the focus in this study is to evaluate imaging methods which provide spatial information in a digital format and which could be potentially used to extract relevant information for FiberLaboratory processes and samples.



**FIGURE 1.** An overall view and classification of imaging technologies and support technologies evaluated in this report. State-of-the-art in imaging (figure VTT).

## TRADITIONAL MACHINE VISION

Traditional machine vision is defined here as image-based measurement using conventional VIS-range industrial cameras with traditional image lenses. In addition, illumination, filters (wavelength, polarisation, etc.), housings as well as the actual image analysis and pattern recognition are covered in this definition.

The applications of machine vision are too many to be listed, but a typical application in industrial settings is quality inspection, where objects e.g. on a conveyor belt are imaged and compared to reference values regarding e.g. dimensions, surface quality, defects, etc.

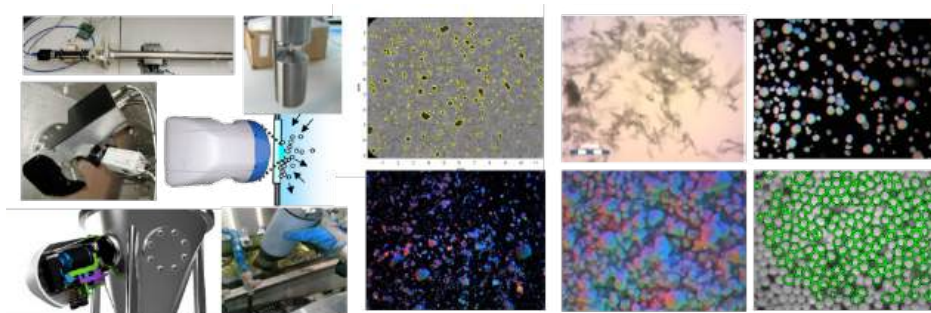
One possible application of traditional machine vision would be an in-line microscope probe combined with application specific illumination and AI analysis for detecting objects/phenomena as follows:

- Fibres for size, length and speed and density. Possibly some specific wavelengths (aka. multispectral imaging) could be used to highlight fibres against other materials. Pulsed illumination could be used too for tracking, similar to Particle Imaging Velocimetry (PIV).
- Bubbles and cavities. Especially big bubbles undetected by commercial systems, or bubbles in high density, non-transparent mass. Illumination and optics coupled with AI methods would be the enabling technique.
- Mixing. The homogeneity of materials at the microscale could be determined by using a traditional camera and possibly marker substances to create visual contrast and/or specific wavelengths, as above.

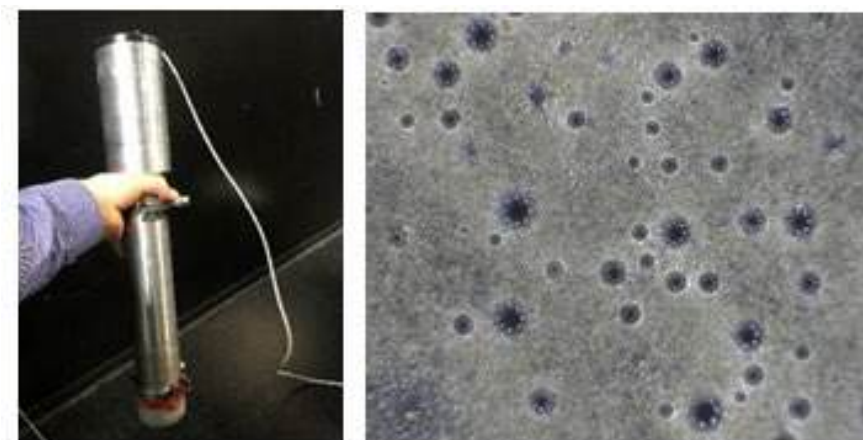
Specific interfaces could be designed for the probes to minimise sampling bias. The main advantage of the above method is that they provide data also for visual inspection and they are relatively low cost. Also, commercial libraries for building the application exist.

Another technique falling under traditional machine vision is high-speed imaging. High frame rates could provide important information in process dynamics.

VTT has been developing many similar applications for e.g. on-line/in-line analysis of particle and bubble size in different processes and developed custom prototypes for these purposes (Jones et al. 2015, Siikanen et al. 2012). Some of these prototypes are illustrated in Figure 2. Figure 3 illustrates a prototype designed to measure bubbles from opaque material.



**FIGURE 2.** Examples of prototypes and sample images of on-line particle and bubble size analysis by VTT (figure VTT).

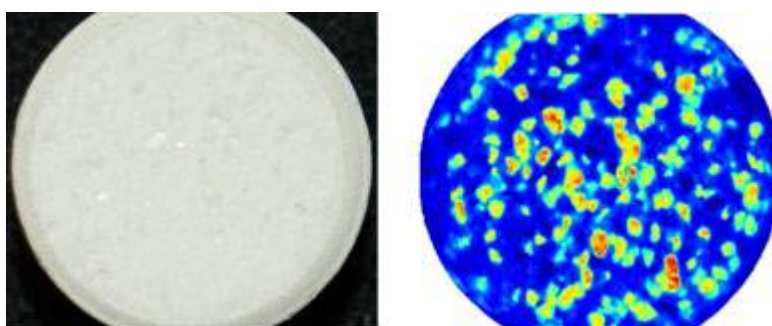


**FIGURE 3.** Example of a prototype and sample image of opaque material of on-line bubble size analysis by VTT (figure VTT).

## HYPERSPECTRAL IMAGING

Hyperspectral imaging (HSI) is an imaging method where multiple spectral channels are measured instead of the blue, green and red of a normal RGB camera. In this review, multispectral imaging is considered to be a special case of HSI. As a result, hyperspectral produces a so called datacube, which is effectively a stack of the images taken with different wavelengths. Now each pixel  $x, y$  records a spectrum, which is usually transformed into some application specific quantity, e.g. moisture, or it is classified into some predefined class, e.g. type of vegetation.

Hyperspectral imaging is a potential way to extend this technique to multiple components (fibres, fillers, starch, etc.), so that the spatial distribution of each component can be analysed independently from the other components. VTT has developed a well-established, Fabry-Perot based tuneable filter for realising smaller and more cost-effective spectrometers and hyper spectral cameras (Antila et al. 2010). An example of the use of the VTT's filter is given below.



**FIGURE 4.** Example information provided by HIS: A tablet imaged with a regular RGB camera and the mapping of the active pharmaceutical ingredient using HIS (figure VTT).

In the Xamk FiberLaboratory applications for hyperspectral imaging could be used to detect objects, e.g. fibres or particles in-line. Specifically, the snapshot method or multispectral imaging with some specific bands could be used to highlight and separate the objects of interest, which would otherwise be difficult using only RGB information.

Multispectral/snapshot HIS could also be potentially applied for analysing mixing and dispersion in process flows and end products. If the components do not naturally have spectral information to separate them, a marker substance could be induced.

Finally, HIS could be applied in the bioeconomy for assessing the quality of living biomass, such as tree embryos.

### 3D IMAGING

3D imaging has been a significant part of machine vision for a long time and a variety of techniques have been developed for different purposes. In this study, 3D imaging is considered to cover any measurement technique that provides a spatial image with depth information, excluding tomographic imaging which has its own chapter. However, the focus here is on techniques that could be used either on-line in industrial settings or on accurate laboratory devices, and less on e.g. hand held 3D-scanners and other methods falling under the definition but not considered directly relevant for the possible end applications.

Here the 3D imaging methods have been divided into the main categories below, each having their advantages and shortcomings regarding the parameters such as object size, reflectivity, shape, transparency.

- Laser profilometry
- Structured light
- Stereo imaging
- Time-of-flight (TOF)
- Micro-topography methods
- Deflectometry
- Others

3D imaging is an important imaging technique. 3D imaging can be achieved with many different techniques as presented above. The field is well established with a lot of commercial offerings. 3D imaging has many industrial applications and for example in the manufacturing industry 3D imaging is extensively used in applications such as pin picking, surface inspection and quality control.

In the forest industry 3D measurements are utilised from forest to factory. In the forest, laser scanning is used to measure forests from satellites or planes with the aim of detailed, cost-efficient and up-to-date forest resource information. Forest measurements could be improved by using the SPAD-TOF technique. VTT is currently developing the SPAD-



TOF technology for measuring tree trunks and reducing the effect of branches and foliage on the measurement. In the factory 3D measurements are utilised in the measurement of volume, quality and amount of wood.

In process measurements laser profilometry has been used at VTT for measuring the quality of a slice jet exiting the headbox as well as the activity of the web during the initial dewatering on a forming board. In addition, this technique can be used to measure the thickness profile of the web at the end of the forming section or later, provided that the web is supported by a fabric from one side only, and that the fabric slides firmly against a solid support, e.g. the lid of a vacuum box. In foam forming, laser line profiling has been used to measure the speed of the slice jet, which due to the compressibility of foam cannot be calculated in the same way as in conventional water-laid technology, i.e. by using the Bernoulli principle to convert the hydrostatic pressure measured at the inlet to the slice channel to the jet speed. Moreover, laser line profiling has been used to scan the time-dependent topography of the top surface of the dewatering foam sample in a hand-sheet mould. In addition, laser profilometers could be used to measure the depth profile of a liquid vortex.

## MICROSCOPY

Microscopy is defined as imaging objects or details beyond the resolution of a normal eye. There are three main types of microscopy: optical microscopy, electron microscopy and scanning probe microscopy. The above techniques differ in parameters such as resolution, speed and how deep into the sample they can see. In addition, one important aspect in this report is their applicability to on-line process monitoring. Optical microscopy is limited by diffraction to approximately 0.2 $\mu\text{m}$  resolution, but is well suited for on-line use. Other methods are usually laboratory instruments, limited to at-line use at best. Furthermore, optical microscopy enables less expensive solutions when compared to electron and scanning microscopy.

Advantages of optical microscopy include its relatively low price and its applicability to on-line use. The main limitation comes from the resolution limit and penetration. In-situ microscopes together with state-of-the-art AI based image analysis could provide a powerful tool for monitoring fibre processes, including particle/fibre/bubble size analysis etc.

SEM microscopes could be used as validation and reference tools for optimising the measurement parameters. It could be a tool for assessing the final product regarding e.g. spatial distribution of different materials at a scale unresolved by optical methods (fillers, starch, glues, etc.). SEM instruments can resolve details down to the nanometre level, but as a trade-off they are slow and expensive and suitable only for off-line analysis.

## TOMOGRAPHY

Tomographic imaging is defined as a means to provide a section image of a sample in a non-invasive way. Tomography has been mostly developed in the field of medical imaging to scan human tissue using either ultrasound, gamma rays, X-rays or strong magnetic fields. Tomography differs from e.g. traditional X-ray imaging by providing a section with only selected information compared to projection, where all the information in the imaged volume is squeezed into one image. Tomography is usually not direct imaging and requires scanning and computation to form a section.

Tomography is a very large field with vast amounts of different methods employed, so only some potential methods are discussed here. The most common types of tomography are:

- Computed Tomography (CT)
- Positron Emission Tomography (PET)
- Magnetic Resonance Imaging (MRI)
- Ultrasound imaging

Tomographic methods, such as X-ray tomography and OCT are most likely to be well-suited for off-line and the reference measurement of fibre-based samples and products. Since the methods mostly require scanning, they are not on-line methods. The price range of tomography instruments are roughly tenfold greater when compared to traditional machine vision components.

Optical Coherence Tomography (OCT) has been used in small scale rheometrical studies to supplement the rheometer data with accurate velocity information as well as the distribution of solid material in the studied fluids. OCT can reveal, e.g., flow slippage at the solid wall of the rheometer flow geometry or depletion of solid material from the wall, both of which may strongly affect the interpretation of the measured rheological data.

X-ray microtomography has been used to study the 3D structure of sample sheets formed in a paper machine or in a hand sheet mould, both water-laid and foam formed. The 3D images of small pieces of sample material can be analysed for, e.g. fibre orientation, pore size distribution, or the distribution of fillers or other additives.

## ROADMAP

The previous chapters describe the state-of-the-art in imaging techniques and the upcoming bioprocessing trends. This chapter suggests a roadmap with the goal of enabling new opportunities in innovation networks in Finland (between Xamk-industry- and technology partners).

To create a roadmap, first a vision of the long-term objectives to reach the defined goal needs to be set. Then, based on the current state and technology trends, the development paths towards the vision are defined.

The imaging technology landscape is wide and the rapid development is enabling new opportunities for industrial measurements providing new opportunities for the processes and technologies in the context of forest bioeconomy and cleantech.

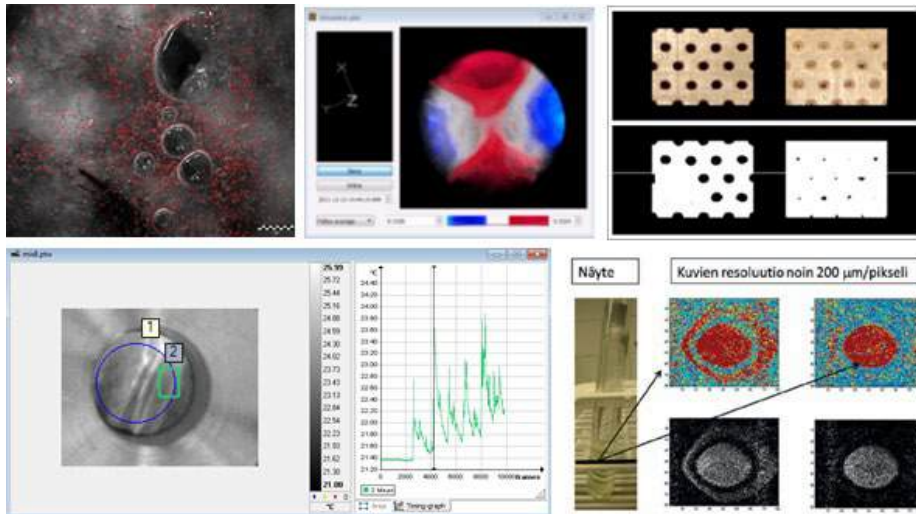
Given the advances in imaging technology, the following 3-5 year vision and targets for Xamk was identified.

1. Xamk FiberLaboratory has in its use the best imaging technologies for in-line measurement research.
2. FiberLaboratory is the best pilot platform in the world for applied in-line measurements in forest bioeconomy.
3. Xamk aims to create new business opportunities in Finland for process measurements with new measurement technologies.
4. Xamk develops its ability to customise measurements (FiberLaboratory and 3K factory co-operation).

In this vision, Xamk profiles itself as a user and applicator of technologies. The aim is not to build the measurement technologies but to be able to apply the state-of-the-art technologies for measurements in practice. This requires partnerships with companies and research institutes and investment in measurement technology.

## **CURRENT STATE**

One of the key research areas of FiberLaboratory is LC and MC fibre suspension. The bubble size analysis, for example, has limitations on the size range of bubbles that can be detected. With a large magnification, small bubbles can be detected but due to the small imaging area big bubbles cannot be analysed. Furthermore, the bubble size probe cannot handle opaque materials such as LC or MC pulp. While successful in MC, electric impedance tomography has shown to have limitations in LC. Flowing LC and MC suspensions pose a challenging measurement environment especially when targeting in-line measurements. Fusion of multiple measurements may be needed to complement each other.



**FIGURE 5.** Illustration of the imaging techniques utilised at Xamk. From left to right and top to bottom: Pixact probe, electric impedance tomography, traditional machine vision, thermal imaging and MRI imaging (figure VTT/Xamk).

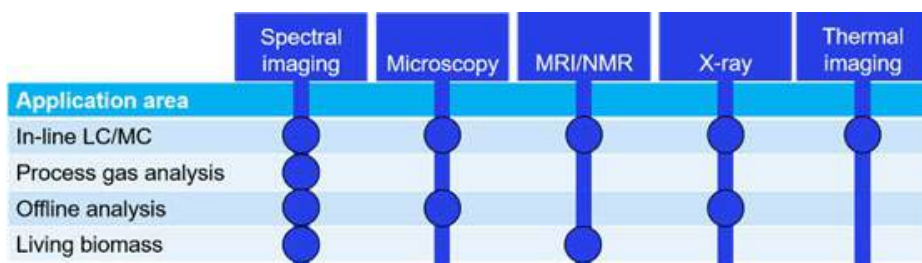
## DEVELOPMENT PATH

Considering the vision defined above, the key enabler towards the vision is the introduction of new measurement technologies to FiberLaboratory. To guide the technology selection, the following measurement focus areas are defined:

- In-line LC/MC
- In-line process gas analysis
- Off-line laboratory analysis
- Living biomass in co-operation with LUKE

Based on the state-of-the-art review, the following technologies are seen as key enablers for improving the measurement capabilities of the FiberLaboratory in the selected focus areas:

- Spectral imaging
- Microscopy
- MRI/NMR
- X-ray
- High speed thermal imaging



**FIGURE 6.** Illustration of the connection between the application areas and the technologies (figure VTT/Xamk).

Some of the technologies can be applied to multiple application areas, whereas some address more specific measurement needs. Figure 6. illustrates the connection between the technologies and the application areas.

To apply these technologies for Xamk applications, adjustment and customisation is needed since the commercial offering rarely fits the measurement environment needs directly, especially in the case of in-line or on-line measurements. The development path starts from the identification of the measurement parameters and the underlying measurement physics. Based on these, the methodology needs to be first verified with laboratory feasibility studies where the measurement scenario can be simplified and complex measuring equipment can be utilised. The feasibility study provides the required insight into how a prototype should be designed for proof of concept verification. The final phase is the design of the measurement system to the actual process measurement requirements.

## REFERENCES

Jones, I., Okkonen, M., Greene, A., & Cullen, P. J. (2015). Monitoring fluid-bed granulation and milling processes in-line with real-time imaging. *Pharmaceutical Technology*, 39(3), 56–64.

Siikanen, S., Miikkulainen, P., Kaarre, M., and Juuti, M. 2012. In-line particle measurement in a recovery boiler using high-speed infrared imaging. *Proc. SPIE 8354, Thermosense: Thermal Infrared Applications XXXIV*. Vol. 8354. International Society for Optics and Photonics.

Antila, J., Miranto, A., Mäkynen, J., Laamanen, M., Rissanen, A., Blomberg, M., Saari, H., & Malinen, J. (2010). MEMS and piezo actuator based Fabry-Perot interferometer technologies and applications at VTT. In *Proceedings of SPIE: Next-Generation Spectroscopic Technologies III [76800U]* International Society for Optics and Photonics SPIE. *Proceedings of SPIE Vol. 7680*

# AKKREDITOIDUN TESTAUS- TOIMINNAN VAIKUTUS JOKA- PÄIVÄISEEN ARKEEN

Hanna-Kaisa Koponen & Anna Eskola & Sirpa Rahiala

Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulun tutkimusyksikkö Kymilabs tarjoaa laatu- ja mittauspalveluja yrityksille liittyen päästömittauksiin, CE-merkintään ja betonintestauspalveluihin. Akkreditoituneet menetelmät tuottavat luotettavaa tietoa elinympäristön ja siinä käytettävien rakenteiden ja tuotteiden turvallisuudesta, ja ovat osaltaan varmistamassa ihmisten ja ympäristön hyvinvointia.

KymiLabsin akkreditointitunnus on T197 ja akkreditointi perustuu standardiin SFS-EN ISO/IEC 17025:2017.

## AKKREDITOINTI

Akkreditointi todistaa testauslaboratorion tuottavan luotettavia tuloksia valituilla aloilla ja menetelmillä. Arkipäivän elämässä akkreditoitu testaustoiminta pyörii usein näkymättömänä taustalla, mutta heijastuu meidän jokaisen elämään elinympäristön ja siinä käytettävien tuotteiden turvallisuutena, kuten esiteltävät Kymilabsin toimintaa kuvaavat case-esimerkit selkeästi osoittavat. Akkreditoinnin myötä laboratorio saa pätevyysviranomaismittausten suorittamiseen ja vaatimustenmukaisuuden todentamiseen viranomaisille. Esimerkkejä akkreditoitujen laboratorioiden toimialoista ovat elintarvikkeet, juomavesi, ympäristön vesi- ja maanäytteet, päästömittaukset sekä monipuolinen materiaali- ja tuotetestaus.

Akkreditointi asettaa testauslaitokselle monia vaatimuksia. Keskeisimmät vaatimukset ovat toimiva ja dokumentoitu laatu- ja mittausjärjestelmä sekä testaus- ja mittausten jatkuva laadunvarmistaminen kalibrointien, vertailumittausten sekä sisäisten ja ulkoisten auditointien avulla. Myös henkilöstön osaamisen ylläpitoon kiinnitetään jatkuvaa huomiota. Laatu- ja mittausjärjestelmään kirjattujen toimenpiteiden avulla poistetaan mahdollisia virhelähteitä, taataan toiminnan järjestelmällisyys ja jäljitettävyys.

KymiLabsin palveluista päästömittaus-, betonintestaus- ja CE-merkintäpalvelut ovat akkreditoituja. Päästömittauspalveluissa akkreditointi on ollut jo vuodesta 2001, betonintestauksen puolelle akkreditointi laajeni vuonna 2011 ja CE-merkintäpalveluihin vuonna 2013. KymiLabsin akkreditointitunnus on T197 ja akkreditointi perustuu standardiin

SFS-EN ISO/IEC 17025:2017. Suomessa akkreditoiteja myöntää Suomen kansallinen akkreditointielin FINAS (Finnish Accreditation Service).

Akkreditoinnin kautta KymiLabs on osaltaan varmistamassa teollisuuden päästöjen pysymistä säädettyissä raja-arvoissa, saunankiukaiden turvallisuutta ja betonirakenteiden kestävyyttä sekä sitä kautta ihmisten ja ympäristön hyvinvointia.

## CASE PÄÄSTÖMITTAUS: PAREMPAA ILMANLAATUA

Voimalaitosten, teollisuuden ja lämpölaitosten päästömittaukset näkyvät ihmisten arjessa hyvänä ilmanlaatuna. KymiLabsin päästömittauspalvelut toteuttaa vuosittain kymmeniä päästömittauksia, joiden tarkoituksena on yleensä joko prosessin optimointi, laitoksen tai laitteiden takuukokeet taikka viranomaisia varten tehtävät mittaukset. Ilman toimivaa sääntelyä ja sitä valvovaa toimintaa ilmanlaatu Suomessakin voisi olla hyvin erilainen.

Päästömittaustoiminta alkoi Suomessa jo 1960-luvulla, ja aluksi päästömittausten laadulle ei ollut vaatimuksia. 1960- ja 70-luvuilla ei vielä ollut kansallista lainsäädäntöä tai ympäristöhallintoa olemassa. Kiinnostus ilmanlaatua kohtaan kasvoi enenevässä määrin 1970-luvulla, ja 1976 perustettiin Ilmansuojeluyhdistys, ja Ilmansuojelulaki ja -asetus astuivat voimaan 1982. Konkreettisenä esimerkkinä päästömittausten tärkeydestä pidetään vanhaa tapausta Kyläsaaren jätteenpolttolaitoksen päästöjen mittaamisesta 1980-luvulla, jonka seurauksena laitoksen toiminta lopetettiin vuonna 1988. (Pellikka 2019, Ilmansuojeluyhdistys)



**KUVA 1.** Päästömittaukset (kuva Mikko Nykänen).



Ilmansuojelulain voimaan astumisen jälkeen päästömittausten laatuun alettiin kiinnittää huomiota ja nykyään viranomaisvalvontaa varten tehtävien mittausten tekijänä tulee olla akkreditoitu toimija. EU:hun liittymisen jälkeen EU-direktiivit myös ilmansuojelun osalta on otettu käyttöön kansallisina asetuksina. Velvoittavia asetuksia ovat muun muassa jätteenpolttoasetus, asetus suurille voimalaitoksille sekä asetus keskisuurille voimalaitoksille. (Pellikka 2019)

Uusien velvoitteiden myötä vaaditaan yhä alhaisempia päästötasoja mitattaville komponenteille, joten myös mittaajien on kyettävä tekemään entistä laadukkaampia ja vaativampia mittauksia (Pellikka 2019). Päästömittausten laadun kehityksessä yhtenä osana ovat n. neljän vuoden välein järjestettävät kansalliset vertailumittaukset, jotka toimivat osana ulkoista laadun varmistusta. Näihin vertailumittauksiin osallistuvat yleensä kaikki akkreditoitujen päästömittaajat Suomessa, joita on tällä hetkellä alle kymmenen. Ulkoisen laadunvarmistuksen lisäksi vertailumittausten avulla päästömittaajat voivat myös löytää omia kehityskohteitaan, ja tulokset ovat myös tärkeitä esimerkiksi haettaessa uusia akkreditointialueita.

Nykyään ilmansuojelu on laajentunut pelkästä ilmanlaadun parantamisesta kohti ilmastonsuojelua, ja keskustelussa ovat globaalit päästöt paikallisten päästöjen lisäksi. Päästömittaajien tekemien mittausten pohjalta toiminnanharjoittajat raportoivat päästönsä myös erilaisiin rekistereihin, kuten Euroopan päästörekisteriin (E-PRTR European Pollution and Transport Register). Tulosten oikeellisuus, luotettavuus ja puolueettomuus ovat siis hyvin tärkeitä myös globaalissa mittakaavassa, jotta pystytään seuraamaan todellisia päästömääriä.

## **CASE KIUASTESTAUS: YMPÄRISTÖYSTÄVÄLLISIÄ JA TURVALLISIA SAUNAN KIUUKAITA**

Kiukaiden tyyppitestausten avulla varmistetaan erityisesti niiden turvallisuuteen ja ympäristöön aiheuttamia vaikutuksia. KymiLabs on saanut Finas-akkreditointipalvelulta vuonna 2013 hyväksynnän suorittaa CE-merkintään oikeuttavia jatkuvalämmitteisten saunan kiukaiden tyyppitestausta, ja on edelleen harvoja testauslaitoksia Suomessa, jolla on tämä oikeus.

Rakennustuoteasetuksessa (305/2011) säädetään CE-merkinnän käyttämisestä rakennustuotteissa. Asetuksen mukaan viranomaiset eivät myönnä tuotteelle CE-merkintää, vaan esimerkiksi kiukaiden valmistaja voi kiinnittää CE-merkinnän tuotteeseen, kun sovellettavan harmonisoidun tuotestandardin (SFS-EN 15821) vaatimukset täyttyvät. Tätä vaatimusten täyttymistä varmennetaan Kymilabsin saunantestauslaboratoriossa, joka toimii puolueettomana kolmantena osapuolena eli ilmoitettuna laitoksena. Ilmoitetut laitokset ovat jäsenvaltioiden päteväksi toteamia laitoksia tekemään CE-merkinnän edellyttämiä testauksia, esimerkiksi Suomessa Ympäristöministeriö myöntää oikeuden toimia ilmoitettuna laitoksena.

CE-merkintä koskee periaatteessa vain uusia tuotteita, jotka ovat tulossa myyntiin eli jotka saatetaan markkinoille. Näiden uusien kiukaiden tyyppitestauksessa mitataan ja raportoidaan hyötysuhteeseen, tehoon ja päästöihin liittyviä asioita ja tarkastellaan käyt-

töturvallisuutta. CE-merkinnän avulla saadaan siis tarkkoja ja luotettavia tietoja kiukaiden ominaisuuksista. Turvallisuuteen, terveyteen, ympäristöön ja kuluttajansuojaan liittyvät vaatimukset ovat keskiössä CE-merkinnässä, ja sen avulla valmistaja vakuuttaa näiden olevan kunnossa (CE-merkintä 2020).

Kiukaiden CE-merkinnällä ja -testauksella voidaan siis vaikuttaa kiukaan turvallisen käytön lisäksi myös terveyteen ja ympäristöön esimerkiksi käyttökohteen lähellä olevan ilmanlaadun parantumisen kautta. Viime aikoina keskustelussa kiukaiden osalta ovat olleet erityisesti hiukkaspäästöt ja mahdollisuudet asettaa niille rajoituksia päivitettävässä tuotestandardissa. Pienhiukkaspäästöt voivat olla ongelma etenkin pientaloalueilla, joissa on paljon pientulisi-joja- ja puukiukaita. Pienhiukkaspäästöjen on todettu aiheuttavan haittaa etenkin sydän-, verisuoni- ja hengityselimistön terveydelle (Kansallinen ilmansuojeluohjelma 2030, 47–48).

CE-merkinnän tavoitteena on myös helpottaa kuluttajien tekemää tuotteiden vertailua. Pohdinnassa on myös ollut, mitkä olisivat oikeat parametrit, kun kiukaita vertaillaan, ja mitkä olisivat keinot, joilla kiukaista saataisiin ympäristöystävällisempiä. Myös ympäristömerkin kehittämistä kiukailla on harkittu. Kiukaiden hyötysuhteet ja päästöt eivät aina nimittäin ole suoraan riippuvaisia toisistaan, ja päästöt voivat poiketa toisistaan huomattavasti eri kiukaiden välillä, vaikka hyötysuhteet olisivat suhteellisen lähellä toisiaan. Tissari ym. (2019, 60) tekemässä tutkimuksessa havaittiin jopa yli 100-kertaisia eroja polysyklisten aromaattisten hiilivetyjen (PAH) päästöissä kiukaiden välillä. Tutkimuksessa havaittiin myös, että yleisesti kiukailla, joilla oli parempi hyötysuhde, oli myös korkeammat päästöt (BC, PM1, CO). Kiukaiden päästöjen vähentämiseen nähdäänkin selvää potentiaalia, kuten myös kehittämistarpeita kiukaiden CE-merkintätietoihin ja testausmenetelmiin. (Tissari ym. 2019, 59–61) KymiLabs seuraa alan kehitystä ja on aktiivisesti mukana kiukaiden standardointityöryhmän toiminnassa.

## **CASE BETONINTESTAUS: KESTÄVIÄ SILTOJA JA TURVALLISIA RAKENNUKSIA**

Akkreditoitu betonintestaustoiminta on osa betonirakentamisen laadunvarmistusketjua, jonka avulla pyritään varmistamaan ihmisten ja ympäristön turvallisuutta sekä rakentamaan betonista kestäviä rakennuksia ja infrarakenteita. KymiLabs betonintestauspalveluissa tehdään tuhansia betonin lujuus- ja säänkestävyydestaustuksia vuosittain, joiden avulla varmistetaan betonin laatua ja vaatimustenmukaisuutta.

Maa- ja vesiteollisuuden lisäksi betoni on yleisin käytetty rakennusmateriaali. Myös suomalaisessa rakentamisessa betonilla on suuri merkitys ja sitä käytetään vuosittain noin 5 miljoonaa kuutiometriä. Rakennusten perustuksissa betoni on ylivoimaisesti käytetyin materiaali ja talonrakentamisessa noin 45 % runkomateriaaleista ja 15 % julkisivuista on betonia. Infrarakentamisen puolella betonia käytetään moniin yhteiskunnallisesti tärkeisiin rakenteisiin kuten siltoihin, patoihin, satamarakenteisiin, voimalaitoksiin, jätevedenpuhdistamoihin, vesitorneihin, tunnelihin ja tukimuureihin. (Betoniteollisuus Ry.) Liikennevirastolla oli vuoden 2018 alussa

hallinnassaan 15 013 tiesiltaa ja 2 516 rautatiesiltaa. Tiesilloista kaksi kolmasosaa ja rautatiesilloista peräti 80 % on betonisia siltoja. (Väylävirasto, 11.) Lövön silta Varsinais-Suomessa rakennettiin vuonna 2011 korvaamaan lossiliikenne Lövön ja Söljeholmenin saarien välillä. Silta on 7-aukkooinen liittopalkkisilta, jonka päällysrakenteena on teräspalkisto ja teräsbetonilaatta. Kuvassa 2 näkyvät hyvin päällysrakennetta kannattavat korkeat teräsbetoniset pilarit. Sillan alikulkukorkeus väylän kohdalla on 19 metriä (Projektiutiset.)



**KUVA 2.** Lövön sillan teräsbetoniset pilarit (kuva Päivi Eskola, 2019).

Betonilla on materiaalina monia etuja, joista merkittävimpiä ovat sen hyvä puristuskestävyys, palon- ja kosteudenkestävyys sekä muokattavuus. Lisäksi betonin valmistus on muun muassa raaka-aineiden saatavuuden takia suhteellisen helppoa ja betonin hintaa voidaan pitää kilpailukykyisenä. Koska betonirakentaminen koskee yleensä massiivisia rakenteita tai rakenteen kannalta olennaisia rakenneosia kuten kantavia rakenteita, on erityisen tärkeää, että betonirakenteiden kestävyys ja säilyvyys voidaan luottaa. Etenkin vaativien rakenteiden ja säänkestävien betonien valmistus ja valun hallittavuus vaativat paljon tietoa ja taitoa koskien esimerkiksi uusia, ekologisempia betonin osa- ja lisäaineita ja niiden

yhteisvaikutuksia. Vuoden 2016 muutamissa kohteissa havaittiin lujuusongelmia ja tämän seurauksena toteutettiin selvitys, joka nosti esiin kehitystarpeita kaikkien laatuketjun osapuolten toiminnassa (Betonirakentamisen laatuketju).

Betonirakentamista valvotaan viranomaisten taholta ja valvonta jakautuu virallisempaan vaatimustenmukaisuuden toteamiseen ja valmistajan omaan laadunvalvontaan (By 201 Betonitekniikan oppikirja, 152.) Osan betonille tehtävistä laadunvalvontatesteistä voi betonin valmistaja tehdä itse, mutta osa testeistä, kuten säilyvyytestit ja vuosittaiset tasotarkastuskokeet tulee tehdä päteväksi osoitetussa eli akkreditoidussa testauslaboratoriossa (By 65 Betoninormit, 96).

Betonin lujuutta ja säänkestävyyttä sekä monia muita ominaisuuksia valvotaan ja testataan säännöllisesti muun muassa mikroskoopilla (kuva 3). Betonin valmistaja tekee ennakkokokeita, joiden avulla betonimassan koostumus säädetään halutuksi ja suunnitelmien mukaiset betonin ominaisuudet saavutetaan. Ennakkokokeiden lisäksi betonin valmistaja tekee jatkuvaa laadunvalvontaa vuosittaisten tasotarkastuskokeiden avulla, pyrkien pitämään tuotannon tasalaatuisena. (By 65 Betoninormit, 155.) Tämän lisäksi betonin ominaisuuksia voidaan valvoa yksilöllisesti ja ennakkoidusti yksittäisen työkohteen suhteen tai toisaalta myös jälkikäteen, jos epäillään betonin vaatimustenmukaisuutta.



**KUVA 3.** Betonin pakkasenkestävyyttä tutkitaan esimerkiksi huokosjakomäärityksen avulla pinta- tai ohuthieestä (kuva Anna Eskola, 2016).

Betonin haluttujen ominaisuuksien toteutuminen ja rakenteiden turvallisuus edellyttävät, että rakentamisen koko laatuketju on kunnossa ja kaikkien osapuolten laadunvarmistus on toteutettu huolellisesti. Suunnittelija valitsee kohteeseen sopivan betonilaadun, betonin valmistaja varmistaa suunnitelmienmukaisen massan toimittamisen kohteeseen, rakennuttaja ja valvoja vastaavat työn toteutuksen aikataulusta ja laadusta. Jotta varmistutaan siitä, että betoni soveltuu käyttökohteeseensa, testataan siitä valettuja koekappaleita betonin valmistajan testausten lisäksi ns. kolmannen osapuolen eli puolueettoman ja riippumattoman, akkreditoitun testauslaboratorion toimesta. Tässä vaiheessa Kymilabsin betonintestauspalvelut astuvat kuvaan mukaan.

## LOPUKSI

Kymilabsin toimintaa ja palveluita kehitetään määrätietoisesti. Tarvetta uusille palveluille ja testausmenetelmille seurataan jatkuvasti ja niihin tarvittavaa osaamista kehitetään muun muassa TKI-hankkeissa. Teollisuuden tukeminen siirryttäessä vähähiilisempään tuotantoon ja tuotteisiin sekä EU:n vihreän kehityksen ohjelman (Green Deal) tavoitteisiin vastaaminen kasvattavat akkreditoitun testaustoiminnan tarvetta entisestään tuotantoprosessien muokkaamisen ja uusien materiaalien myötä.

## LÄHTEET

Betonirakentamisen laatuketju. 2017. Rakennusteollisuus RT Ry. WWW-sivut. Saatavissa: <https://www.rakennusteollisuus.fi/Tietoa-alasta/Laatu/betonirakentamisen-laatuketju/> [viitattu 8.10.2020]

BY 201 Betonitekniikan oppikirja. 2009. Suomen Betoniyhdistys Ry.

BY 65 Betoninormit. 2016. Suomen Betoniyhdistys Ry.

CE-merkintä. hENHelpdesk. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.henhelpdesk.fi/ce-merkinta.html> [viitattu 6.10.2020].

Ilmansuojeluyhdistyksen historia. 2014. Ilmansuojeluyhdistys ry. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://isy.fi/toiminta/ilmansuojeluyhdistyksen-historia/> [viitattu 6.10.2020].

Kansallinen ilmansuojeluohjelma 2030. Ympäristöministeriö. PDF-dokumentti. Saatavissa: <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-361-008-8> [viitattu 6.10.2020].

Lövön silta. 2011. Projektuutiset. Verkkolehti. Saatavissa: <https://www.projektuutiset.fi/lovon-silta/> [viitattu 8.10.2020]

Pellikka, T. 2019. Päästömittauksista - lyhyt katsaus historiaan. COMPI-projektin koulutuspäivä 13.2.2019. Ppt-esitys.

Rakennustuoteasetus (305/2011).

Siltojen ja muiden taitorakenteiden purkubetonijätteen hyödyntäminen. 2019. Väylävirasto. PDF-dokumentti. Saatavissa: [https://julkaisut.vayla.fi/pdf12/vt\\_2019-08\\_siltojen\\_purku-betonijatteen\\_web.pdf](https://julkaisut.vayla.fi/pdf12/vt_2019-08_siltojen_purku-betonijatteen_web.pdf) [viitattu 8.10.2020]

Tietoa Betonista. Betoniteollisuus Ry. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://betoni.com/tietoa-betonista/perustietopaketti/betoni-rakennusmateriaalina> [viitattu 8.10.2020]

Tissari, J., Leskinen, J., Lamberg, H., Nieminen, V., Väätäinen, S., Koponen, H., Myllynen, M., Savolahti, M., Karvosenoja, N. 2019. Kiukaiden päästöt ja niiden vähentäminen. Itä-Suomen yliopisto. PDF-dokumentti. Päivitetty 15.4.2019. Saatavissa: <https://www3.uef.fi/documents/592626/595218/KIUAS+loppuraportti/0f6a2ff2-c36b-4999-ad7a-7788ea5ea19b> [viitattu 6.10.2020].

# BIOTALOUDEN PITKÄ HISTORIA KYMENLAAKSOSSA LUO VAHVAN POHJAN RAKENTAA TULEVAISUUTTA

Kirsi Tallinen & Kari Laine

Kymenlaaksolla on pitkä ja perinteikäs historia biotaloudessa. Alueen metsäteollisuudessa on osattu hyödyntää vesistöjä ja metsiä jo lähes sataviisikymmentä vuotta, mistä kertovat lähiaikoina tulevat juhlavuodet useammallakin edelleen toimivalla yrityksellä. Metsäteollisuudessa on jo pitkään toimittu kiertotalouden peruseräiteiden mukaisesti. Alan kilpailukyky ja menestys pohjautuvat vahvaan perustoimintaan ja sen jatkuvaan kehittämiseen, jossa kiertotalouden rooli tulee entisestään kasvamaan.

Kymenlaakso näyttäytyy kuitenkin melko heikkona kehittäjänä, sillä tutkimus-, kehitys- ja innovaatio (TKI) -menot ovat Kymenlaaksossa maan alhaisimmat. Tämä vaikuttaa myös siihen, ettei alue näyttäydy ulospäin kiinnostavalta TKI-kumppanikohteelta, vaikka paljon hyvää on tehty ja tekeillä. Useita vaikuttavia toimintoja on käynnissä alueella, joista esimerkkeinä yritysten biojalostamosuunnitelmat, akkumateriaalien valmistuksen aloittaminen, mäntyöljyn tislamolaitos ja muovittoman kartongin valmistus. Kymenlaakson liiton liittyminen hiilineutraaliutta tavoittelevaan verkostoon Haminan, Kouvolan ja Kotkan lisäksi ja sitä kautta koko maakunnan hiilineutraaliustavoitteen edistäminen erilaisilla tukitoimilla edesauttaa aluekehitystä. Vahvempi tiedottaminen hyvistä esimerkeistä lisääisi alueen tunnettavuutta tavoitteellisesta TKI-toiminnasta bio- ja kiertotaloudessa parantaen mahdollisuuksiamme jatkuvaan kehittämiseen.

Alueelliset kehittämishankkeet ovat yksi keino yhteistyön ja tunnettuuden lisäämisessä, ja tätä tukee muun muassa Biotalous uudet tuulet – BUT -hanke, jossa päärahoitus tulee Kymenlaakson liiton puoltamana Uudenmaan liitolta Euroopan aluekehitysrahastosta (EAKR).

## JOHDANTO

Nordregio on Pohjoismaiden ministerineuvoston perustama johtava pohjoismainen ja eurooppalainen aluekehityksen ja -suunnittelun tutkimuskeskus, jonka toimesta on tehty Pohjoismaista alueellista tilaa kuvaava julkaisu. Siinä on myös alueellista potentiaalia kuvaava indeksitaulukko, jossa Kymenlaakso sijoittuu toiseksi viimeiseksi, 65/66, maakunnal-

lisessä vertailussa. Indeksissä on huomioitu alueen demokraattiset, työvoimaan liittyvät ja taloudelliset tekijät, jotka koostuvat yhteensä yhdeksästä eri indikaattorista. Tässä pohjois- maisessa vertailussa Kymenlaakso näyttyy taantuvana maakuntana. Merkittävimpinä Kymenlaakson osalta nousi esiin heikko nettomuutto, työllisyys, koulutustaso sekä erityisesti TK-investointien vähyys. (Grunfelder 2020)

Vaikka tilastot eivät aina näytä hyvältä, tehdään alueella kehitystyötä, joka ansaitsee tulla esiin nostetuksi. Muuntuva metsäteollisuus on yksi merkittävä biotalouden kehityksen pro- moottori alueella, mikä tulee huomioida aluekehityksessä niin koulutuksen kuin TKI-toi- minnan kehittämisen osalta. Metsäteollisuudessa on alueella vankka pohja, ja se sekä sivuvirrat ja uudet kehityssuunnat mahdollistavat vahvan ja vakaan suunnan jatkossakin.

## BIO- JA KIERTOTALOUDEN KEHITTÄMISEN LÄHTÖKOHDAT KYMENLAAKSOSSA

### TAUSTAA

Kymenlaaksossa teollisuudella ja biotaloudella on vahvat perinteet. Kymijoki ja sen kosket tarjosivat otolliset lähtökohdat teollisten sahojen, puuhiomoiden sekä selluloosa- ja pape- ritehtaiden perustamiselle. Varsinainen teollistuminen Kymenlaaksossa alkoi 1800-luvun loppupuolella.

Metsäteollisuuden historia näkyy edelleen kymenlaaksolaisena tunnuspiirteenä. Nykyisissä tehtaissa ja niiden ympäristössä on nähtävissä teollisuuden perintöä ja historiallista rakennus- kantaa. Lisäksi Kymenlaaksosta löytyy ainutlaatuisia vierailukohteita teolliseen historiaan tutustuttavaksi. Verlan puuhiomo ja pahvitehdas on ainoa suomalainen teollisuuskohte UNESCOn maailmanperintökohteissa ja kuvaa mielenkiintoista kehitysvaihetta Suomen historiassa. Ankkapurhan teollisuusmuseon ytimenä ja arvokkaimpana osana toimii Suomen ensimmäinen jatkuvakäyntinen kartonkikone eli pahvimankeli, joka on entisöity alkupe- räiselle paikalleen. Museossa esitellään alueen teollisuuden varhaisvaiheita, ja teollisuusalue on Museoviraston nimeämä Suomen metsäteollisuuden muistomerkki.

Puolentoista vuosisadan ajan metsäteollisuus on ollut merkittävässä roolissa Kymenlaaksossa, muovannut alueen kehitystä ja antanut tunnuspiirteen kymenlaaksolaiseen identiteettiin. Myös tänä päivänä metsäteollisuus antaa vahvan tukijalan Kymenlaakson elinkeinoraken- teeseen, ja noin kolmasosa maakunnan teollisuuden työpaikoista on metsäteollisuudessa. Yleisesti ottaen koko Kaakkois-Suomi (erityisesti Kymenlaakso ja Etelä-Karjala) muodostaa Euroopan merkittävimmän metsäteollisuuskeskittymän. Metsäteollisuuden osuus muodos- taa Kymenlaaksossa teollisuuden bruttoarvosta jopa yli puolet. Huomioitavaa on, että maan keskiarvot ovat molemmissa alle 20 prosenttia. (Metsäteollisuus ry. Merkitys Suomessa 2019)



## SIJAINTI

Kymenlaakson vahvuuksia ovat myös maakunnan sijainti (kuva 1) ja sen myötä kehittynyt logistiikka. Pääkaupunkiseudun läheisyys, liikenneyhteydet ratoineen ja satamiseen sekä etäisyys esimerkiksi Pietariin ovat kilpailuetua tuottavia lähtökohtia: Kouvolasta on jo erinomaiset ja edelleen kehittyvät rautatieyhteydet joka ilmansuuntaan, HaminaKotkan satamat mahdollistavat tavaraliikenteen ympäri maailmaa ja maantieliikenneyhteydet ovat Etelä-Kymenlaaksossa jo itä-länsi-suunnassa erinomaiset ja parantumassa pohjois-ete-lä-suuntaankin. Kuvassa 1 esitetään Kymenlaakson sijainti Etelä-Suomen kartassa ja alueen hyvät yhteydet muun muassa Helsinkiin, Pietariin ja Tallinnaan.



**KUVA 1.** Kymenlaakson sijainti tuo vahvuuksia (kuva Kymenlaakson Liitto Kymenlaakson maakuntaohjelma 2011–2014, 6).

## KOULUTUS JA YHTEISTYÖ

Alueella sijaitsee ammattikoulutusta sekä korkeakoulutusta (ammattikorkeakoulu) tarjoavia oppilaitoksia metsäteollisuuden alan tarpeisiin. Tiivistä yhteistyötä tehdään (erityisesti lähialueen) yliopistojen kanssa. Koulutusta myös kehitetään yhdessä eri toimijoiden, kuten oppilaitosten, elinkeinoyhtiöiden, yrittäjien, kuntien, kauppakamarien ja työntekijäjärjestöjen kanssa (Kymenlaakso ennakoi).

## MERKITTÄVIÄ INVESTOINTEJA JO TEHTYNÄ, TEKEILLÄ JA TULOSSA

Metsäteollisuudessa kehitetään nykyisten tuotteiden rinnalle uusia tuotteita ja uutta liiketoimintaa, vaikka metsäteollisuuden nykyiset tuotteet toimivat vielä pitkään liiketoiminnan perustana. Perinteisimmistäkin tuotteista, kuten paperi-, pakkaus- ja puutuotteista, syntyy uusia sukupolvia. Teollinen symbioosi tai kiertotalousajatus näkyy myös metsäteollisuuslaitoksilla. Metsäteollisuudessa on pitkä historia toimia siten, että materiaalit ja energia käytetään mahdollisimman tehokkaasti: uutta on käyttää metsäteollisuuden hukkalämpöä paremmin hyväksi muiden toimijoiden prosesseissa. (Metsäteollisuus ry 2020)

Kymenlaakso on pysynyt edelleen merkittävänä metsäteollisuuskeskittymänä paperiteollisuuden murroksesta huolimatta. Alueelle on kohdistunut viime aikoina merkittäviä investointeja, jotka tuovat biotaloudelle jatkuvuutta myös pitkälle tulevaisuuteen. Esi-merkkeinä Kotkamillsin Kotkan tehtaan muovitonta kartonkia tekevä kartonkikone, joka on muokattu vanhasta Stora Enson paperikoneesta. Investoinnin arvo on ollut noin 170 milj. euroa. UPM puolestaan on investoinut Kymin tehtaaseen 2000-luvulla noin miljardi euroa, minkä ansiosta Kymin sellutehdas on yksi Suomen moderneimmista 870 000 tonnin vuotuisella tuotantokapasiteetillaan.

HaminaKotkan Satama Oy on Suomen suurin yleissatama ja yksi merkittävimmistä vienti- ja kauttakulkusatamista Suomessa. HaminaKotka Satama Oy ja Stevedco Oy ovat yhteistyössä rakentaneet maailmanluokan selluterminaalin Kotkaan Mussalon satamaan, jonka koko on 30 hehtaaria ja investoinnin arvo noin 40 miljoonaa euroa. Selluterminaali hyödyttää muun muassa UPM:n Kaukaan ja Kymin sellutehtaiden meriliikennettä. Toisaalta Suomen suurin rautatieliikennekeskus tavaraliikenteen osalta on Kouvolassa. Kouvolan RRT-hanke tekee Kouvolasta nykyistä merkittävämmän kv. rahtiliikenteen keskuksen. Kouvola on Suomen ainoa TEN-T-ydinverkon rautatie- ja maantieterminaali. (Kymenlaakson hätähuuto 2020)

Fintoil Oy rakentaa Haminan nestesatamaan mäntyöljyn tislamolaitoksen, jonka tuotteista suurin osa menee biodieselin tuotantoon. Investoinnin arvo on yli 100 miljoonaa euroa. Laitoksen rakentaminen aloitetaan Haminassa, kun yhtiö on saanut ympäristö- ja rakennusluvut, aikaisintaan loppuvuodesta 2020. Tehtaan käynnistymisajaksi arvioidaan vuoden 2022 loppua. Uusi laitos työllistää kymmeniä henkilöitä. (Haminan satamaan 2020)

Stora Enson tehdas Kotkan Sunilassa on vuosikymmeniä tehnyt valkaistua havusellua, mutta tuotanto on vuosien varrella kehittynyt: ligniiniä, jota on käytetty pääosin fenolien korvaamiseen, on Sunilassa teollisessa mittakaavassa valmistettu jo vuodesta 2015. Nyt Stora Enso kertoo rakentavansa Sunilan sellutehtaalle koelaitoksen, jossa tullaan valmistamaan puupohjaista hiiltä ligniinistä akkuteollisuuden tarpeisiin. Koelaitoksen tulisi olla valmis vuoden 2021 alussa (Stora Enso 16.6.2020).

UPM:llä on suunnitteilla miljardiluokan biojalostamoinvestointi Kotkaan, ja laitoksen ympäristövaikutusten arviointi (YVA) on jo suoritettu, vaikkei rakentamispäätöstä vielä ole tehty. Biojalostamossa valmistettaisiin noin 500 tuhatta tonnia kehittyneitä liikenteen polttoaineita useista kestävästä raaka-aineista. Raaka-aineet olisivat pääosin biomassaa, erilaisia öljyjä ja rasvoja sekä teollisuuden tähde- ja jätevirtoja tai muita bioperäisiä orgaanisia yhdisteitä. (Kymenlaakson hätähuuto 2020) Maatalouden ja teollisuuden sivuvirtoja on alueella paljon hyödynnettäväksi, ja osa varmasti vielä tunnistamattomissakin lähteissä.

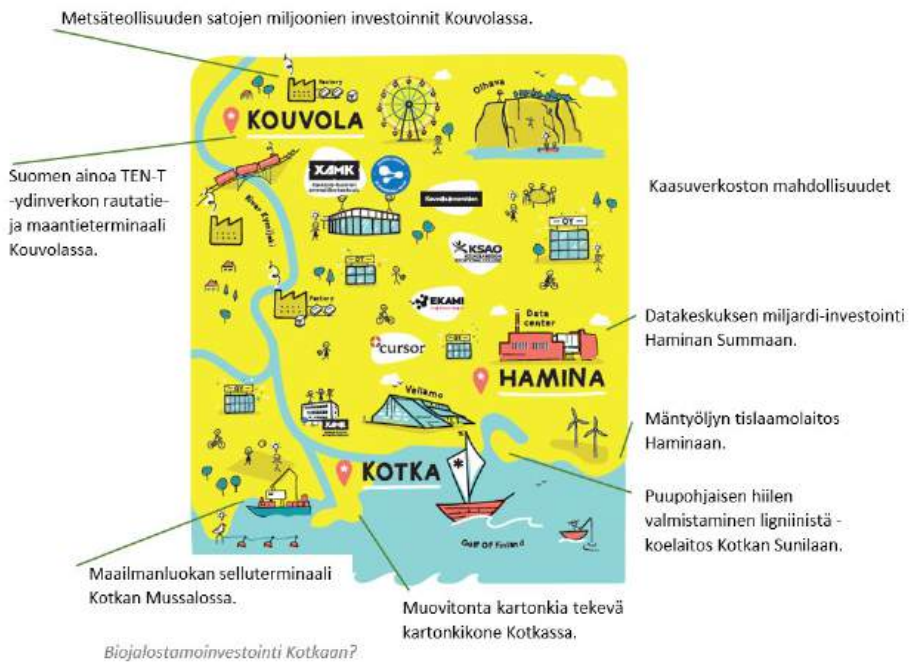
Biokaasun osalta Kymenlaakson vahvuus, kaasuverkosto, mahdollistaisi teollisen mittakaavan toiminnan. Tämä verkosto mahdollistaa perinteisen maakaasun siirron lisäksi niin biokaasun kuin synteettisen kaasun siirron kuluttajille. Kaasuverkostossa ja markkinassa tapahtui merkittäviä muutoksia, kun Suomen kaasumarkkinat avautuivat kilpailulle vuoden 2020 alusta ja Suomen ja Viron välinen yhdysputki avattiin käyttöön. Kaasuverkon on tarkoitus nykyisen arvion mukaan yhdistyä Puolan kautta Keski-Eurooppaan vuonna 2022. (Työ- ja elinkeinoministeriön julkaisuja 2020) Kaasumarkkinoiden avaaminen ja verkostojen yhdistyminen vaikuttavat myös biokaasumarkkinoihin, ja kaasuverkon laajempaa hyödyntämistä Kymenlaaksossa tulisi selvittää. Tällä hetkellä Gasum suunnittelee biokaasulaitoksen laajentamista Kouvolan Mäkikylässä (Gasum 2019), mutta isomman laitoksen mahdollisuuksia on hyvä kartoittaa.

Selluloosalle kuin laajemminkin puupohjaisille tuotteille on tulevaisuudessa valtavasti kysyntää, kun etsitään uusiutuvia ratkaisuja fossiilipohjaisten tuotteiden tilalle. Muovin korvaamisessa puupohjaisilla ratkaisuilla on valtava potentiaali, minkä lisäksi puusta voidaan valmistaa tuotteita myös esimerkiksi vaateteollisuuteen, komposiitteihin ja lääketieteellisuuteen. Kun tulevaisuudessa biotalouden ja biopohjaisten uusien innovaatioiden merkitys tulee edelleen kasvamaan, toivottavaa olisi, että se näkyisi myös investointeina ja tutkimus- ja kehityspanostuksien lisääntymisenä Kymenlaaksossa. Ainakin Kymenlaakson nykyinen toiminta ja luontaiset vahvuudet antavat uskoa, että myös tulevaisuudessa biotalous pysyy Kymenlaakson vahvana tukijalkana.

Metsäteollisuuden muutosten seurauksena toimintansa päättäneen paperitehtaan tehdas-tiloihin Haminan Summaan perustettu Googlen datakeskus ja sen uudet 1,4 miljardin euron investoinnit ovat merkittäviä alueelle. Datakeskukseen liittyen Google tulee ostamaan merkittäviä määriä tuulivoimalla tuotettua sähköä oman tarpeensa tyydyttämiseen, mikä tarkoittaa Suomessakin noin kymmenen prosentin lisäystä tuulivoimakapasiteettiin (tuotannon lisäys 250 MW). (Googlelta 2019)

Investoinnit ovat merkittäviä aluetaloudellisesta näkökulmasta. Investoinnit myös osoittavat, että Kymenlaakso nähdään houkuttelevana investointikohteena, johon yritysten kannattaa panostaa. Kymenlaakson vahvuudet sijainnissa, logistiikassa, biotaloudessa ja teollisessa osaamisessa ovat vahvoja valtteja, joilla yrityksiä voidaan houkutella alueelle. Kuvassa 2

merkittynä piirroskarttaan Kymenlaakson alueella viime vuosina esillä olleita ja tehtyjä investointeja sekä mahdollisuuksia, jotka tulivat esiin edellä.



**KUVA 2.** Investointeja ja mahdollisuuksia Kymenlaaksossa (kuva alkuperäinen Arta Citko, Latvia, luvalla muokannut Kirsi Tallinen)

## RESURSSITEHOKASTA ALUEKEHITTÄMISTÄ

Kymenlaaksossa on vuosikymmeniä tehty kehitystyötä, mutta pääosin kukin toimija yksin. Viime vuosina avoimuus ja yhteistyö on lisääntynyt merkittävästi julkisten toimijoiden kesken ja yrityksistä julkisten toimijoiden suuntaan, ja esimerkkeinä tästä ovat useat kehittämishankkeet, joissa yritykset, elinkeino-yhtiöt, koulutusorganisaatiot ja kunnat ovat olleet tiiviissä yhteistyössä keskenään. Tavoitteet ja tulokset ovat olleet selkeästi kaikkia hyödyttäviä. Toiminta on myös näin ollut resurssitehokasta yhteiskehittämistä, jossa eri intressit on saatu kohtaamaan. Toimijoiden yhteinen päätavoite on maakunnan voimaannuttaminen, osaamisen ja sitä kautta elinkeinorakenteen kehittäminen kestäväällä tavalla.

Biotalouden osalta kuntien ja maakunnan tavoite vähähiilisyteen ja hiilineutraalisuuteen (HINKU-kunnat Hamina, Kotka ja Kouvola sekä Kymenlaakso HINKU-maakunta) on noussut esiin muun muassa rakentamisen kiertotalouden sekä energiatehokkuuden kehittämishankkeissa. Näissä käytännön pilotti-kohteet ovat olleet kunnallisia, mutta kehitystyötä tekevät ovat elinkeino-yhtiöistä sekä oppilaitoksista. Paikallisia yrityksiä on ollut mukana

asiantuntijatehtävissä ja palveluntarjoajina, muttei juurikaan hankekumppanina tekemässä samalla omaa TKI-kehitystyötään, mikä olisi jatkossa entistä toivottavampaa, jotta alueen TKI-menot saadaan kasvuun.

Työ- ja elinkeinoministeriön alueellisen alkuvuoden 2020 tilannekuvan mukaan Kymenlaakson suuri haaste on edelleen elinvoimaisuuden parantaminen sekä uusien yritysten ja uusien innovaatioiden saaminen Kymenlaaksoon. Maakunta tarjoaa turvallisen asuinpaikan, hyvät liikenneyhteudet, osaavaa ja sitoutuvaa työvoimaa sekä edullisen kustannustason. Alueen toimivuutta, vetovoimaa, palveluja ja olemassa olevia vahvuuksia on systemaattisesti kehitettävä ja viestittävä eri toimijoiden yhteistyönä. (Alueellinen tilannekuva 2020. TEM, 50)

Kymenlaaksolaiset toimijat, korkeakoulutuslaitokset, kauppakamari ja yrittäjäjärjestö ovat nyt vahvistamassa alueen TKI-toimintaa perustamalla kesäkuussa 2020 korkeakoulu yhdistyksen alueelle. Yhdistyksen tavoitteena on nostaa yritysten ja oppilaitosten yhdessä tekemän tutkimuksen osuutta ja vaikuttavuutta, jolloin alue myös houkuttaisi paremmin uusia yrityksiä. Tästä saadaan näyttöä varmasti heti lähiaikoina, kun yhdistyksen toiminta alkaa. (Kymenlaakso sai oman korkeakoulu yhdistyksen 2020)



**KUVA 3.** Kymenlaaksolainen metsäteollisuus jatkaa kehitystään (kuva Kymijoen kuva-pankkihanke).

## YHTEENVETO

On usein todettu, että suomalaiset ovat vaatimattomia: asioita tehdään ja ne tehdään hyvin, mutta emme osaa markkinoida toimiamme. Nytkään emme ehkä aina edes tunnista, että Kymenlaaksossa kehitetty toiminta on osa bio- tai kiertotaloutta ja kestävää kehitystä. Mutta jospa nyt päästäisiin tästä eteenpäin, vanhaa sanontaa lainaten: Kuka se kissan hännän nostaa, jos ei kissa itse?

Kymenlaaksossa on investoitu merkittävästi viime vuosina ja investoidaan edelleen lähivuosina, kuten artikkelissa nostettiin esille. Näiden investointien merkitys tulisi kuitenkin saattaa kootummin näkyviin niin, että ne nousisivat esiin juurikin kymenlaaksolaisina asioina. Moni investoivista yrityksistä toimii laajalla alueella niin kansallisesti kuin kansainvälisestikin, eikä siksi toiminta riittävästi näyttäydy osana Kymenlaakson kehitystä, vaikka aluetta niilläkin voitaisiin markkinoida. Näillä investoinneilla on suuri merkitys alueen elinvoimaan niin työllisyyden kuin vetovoimaisuudenkin näkökulmista. Maakunnan tavoitteena on kuitenkin olla elinvoimainen ja ekotehokas toimintaympäristö vuonna 2040 (Kymenlaakso. Työpaikat 2020).

Metsäteollisuuden 150. juhlavuosi vuonna 2022 on yksi mahdollisuus yhteisen näkyyden aikaansaamiseksi. Biotalous Kymenlaaksossa pohjaa vahvasti metsäteollisuuteen, vaikka bio- ja kiertotaloutta alueella on muutakin. Nämä kaikki tiedot, taidot ja osaamiset liiketoiminnan sekä TKI:n osalta olisi hyvä koota yhteen näkyväksi ja hyödynnettäväksi yhteisenä kymenlaaksolaisena toimintana. Kansallisesti ja kansainvälisesti. Tämä antaisi vahvan pohjan kehittämislle, joka kiinnostaa ja luo aluekiinnostavuutta.

## LÄHTEET

Alueellinen tilannekuva ja kehitysnäkymät: Kevät 2020. TEM 17.6.2020. WWW-dokumentti. Saatavissa: <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-327-530-0> [viitattu 1.7.2020]

Gasum vahvistaa kotimaisen ja uusiutuvan biokaasun saatavuutta ostamalla Mäkikylän biokaasulaitoksen Kouvolasta. Tiedote, Gasum 17.5.2019. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.gasum.com/gasum-yrityksena/medialle/uutiset/2019/gasum-vahvistaa-kotimaisen-ja-uusiutuvan-biokaasun-saatavuutta-ostamalla-makikylan-biokaasulaitoksen-kouvolasta/> [viitattu 6.8.2020]

Googelta 600 miljoonan lisäinvestointi Haminaan, ostaa sähköä kahdesta tuulipuistosta Suomessa – katso tiedotustilaisuus. Yle Uutiset 20.9.2019. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://yle.fi/uutiset/3-10980328> [viitattu 1.7.2020]

Grunfelder Julien, Norlén Gustaf, Randall Linda (eds.) and Sánchez Gassen Nora. State of the Nordic Region 2020. Nordic Council of Ministers 2020. Nord 2020:001. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://pub.norden.org/nord2020-001/nord2020-001.pdf> [viitattu 1.7.2020]

Haminan satamaan on tulossa yli sadan miljoonan euron jätti-investointi: uusi laitos alkaa jalostaa mäntyöljyä biodieselin tuotantoon. Julkaistu 4.2.2020. Yle Uutiset. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://yle.fi/uutiset/3-11191149> [viitattu 1.7.2020]

Hiiilineutraalisuomi.fi. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.hiiilineutraalisuomi.fi/fi-FI/Hinku> [viitattu 1.7.2020]

Kymenlaakso ennakoi. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://ennakointi.kymenlaakso.fi/> [viitattu 6.8.2020]

Kymenlaakso ennakoi, Metsäala. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://ennakointi.kymenlaakso.fi/toimialat/metsaala> [viitattu 5.8.2020]

Kymenlaakson hätähuuto vaikean aluekehityksen tilan ja suuren kehityspotentialin huomioimiseksi rakennerahastovarojen jaossa. Kymenlaakson liiton avoin kirje päättäjille. 18.3.2020. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.kymenlaakso.fi/attachments/article/13494/RRkirjeliitteinen18032020.pdf> [viitattu 1.7.2020]

Kymenlaakson liitto. Kymenlaakson maakuntaohjelma 2011-2014. WWW-dokumentti. Saatavissa: [https://www.google.com/search?q=kartta+kymenlaakso+sijainti+maakuntaohjelma+2011&tbm=isch&ved=2ahUKEwib5ZW857PrAhXr\\_CoKHR5NBpQQ2-cCe-](https://www.google.com/search?q=kartta+kymenlaakso+sijainti+maakuntaohjelma+2011&tbm=isch&ved=2ahUKEwib5ZW857PrAhXr_CoKHR5NBpQQ2-cCe-)

[gQIABAA&oq=kartta+kymenlaakso+sijainti+maakuntaohjelma+2011&gs\\_lcp=CgNpbWcQA1D6tANYk8wDYOMA2gAcAB4AIABXYgBlAuSAQIyMZgBAKABAaoBC-2d3cy13aXotaW1nwAEB&scient=img&ei=Ha5DX9viDev5qwGempmgCQ&bih=551&biw=1280#imgrc=6FNn6aTo2kpwGM](https://www.pkank.fi/aiabaa&oq=kartta+kymenlaakso+sijainti+maakuntaohjelma+2011&gs_lcp=CgNpbWcQA1D6tANYk8wDYOMA2gAcAB4AIABXYgBlAuSAQIyMZgBAKABAaoBC-2d3cy13aXotaW1nwAEB&scient=img&ei=Ha5DX9viDev5qwGempmgCQ&bih=551&biw=1280#imgrc=6FNn6aTo2kpwGM) [viitattu 24.8.2020]

Kymenlaakso sai oman korkeakouluyhdistyksen. Verkkolehti PK-Ank (Kaupunkilehdet Pohjois-Kymenlaakso ja Ankkuri), julkaistu 18.6.2020. Saatavissa: <https://www.pkank.fi/uutiset/kymenlaakso-sai-oman-korkeakouluyhdistyksen-6.19.11133.1af0fbaad5> [viitattu 30.6.2020]

Kymenlaakso. Työpaikat, yritystoiminta, työllisyys, työttömyys, työvoima, koulutus rakenne. Kymenlaakson liitto. Päivitetty 23.4.2020. WWW-dokumentti. Saatavissa: [https://ennakointi.kymenlaakso.fi/images/tyopaikat\\_tyollisyys\\_tyottomyys\\_koulutusrakenne.pdf](https://ennakointi.kymenlaakso.fi/images/tyopaikat_tyollisyys_tyottomyys_koulutusrakenne.pdf) [viitattu 1.7.2020]

Metsäteollisuus ry, Merkitys Suomessa. Ohtonen Raili. 28.1.2019.

Metsäteollisuus ry. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.metsateollisuus.fi/uutishuone/metsateollisuus-panostaa-uusien-tuotteiden-kehittamiseen> [viitattu 15.6.2020]

Stora Enso rakentaa Kotkan Sunilaan koelaitoksen akkuteollisuuden tarpeisiin. Yle Uutiset, julkaistu 16.6.2020. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://yle.fi/uutiset/3-11403848> [viitattu 17.6.2020]

Tehtaanjohtaja myhäilee miljardiluokan investoinneille: ”Antaa jatkuvuutta ja uskoa”. Yle Uutiset 10.8.2016. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://yle.fi/uutiset/3-9084375> [viitattu 28.7.2020]

Työ- ja elinkeinoministeriön julkaisuja. Tammikuu 2020. Biokaasuohjelmaa valmistelevan työryhmän loppuraportti. WWW-dokumentti. Saatavissa: [http://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/162032/TEM\\_2020\\_3\\_Biokaasuohjelmaa%20valmistelevan%20tyoryhman%20loppur%20.pdf](http://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/162032/TEM_2020_3_Biokaasuohjelmaa%20valmistelevan%20tyoryhman%20loppur%20.pdf) [viitattu 3.8.2020]

UPM Kymin tehtaan tehokkuus nousi uudelle tasolle – sivutuotteena uusiutuvaa energiaa. UPM Artikkelit 16.3.2017. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.upm.com/fi/ajankohtaista/artikkelit/2017/03/upm-kymin-tehtaan-tehokkuus-nousi-uudelle-tasolle--sivutuotteena-uusiutuvaa-energiaa/> [viitattu 28.7.2020]



# HIENONNETUN BIOLENTOTUHKAN HYÖDYNTÄMINEN BETONISSA – TULOKSIA HITU-HANKKEESTA

Eveliina Kuokkanen & Anne Gango

Kivihiiilen polttaminen loppuu Suomessa vuonna 2029, jonka jälkeen tuoretta hiilenpolton lentotuhkaa ei enää ole saatavilla Suomesta betoniteollisuuden tarpeisiin. Toisaalta energiaa tuotetaan polttamalla biopohjaista materiaalia, kuten puuta ja turvetta. HITU-hankkeessa on tutkittu biopohjaisen lentotuhkan käyttöä sekä sellaisenaan että hienonnettuna betonin raaka-aineena. Käyttämällä jo olemassa olevaa materiaalia betonissa korvaamassa kalkkikiven käyttöä voidaan löytää teollisuuden sivuvirralla uusi hyötykäyttökohde, vähentää uusiutumattoman raaka-aineen hyödyntämistä sekä pienentää rakentamisen hiilijalanjälkeä.

HITU-hankkeen toimeksiannosta tehtiin opinnäytetöitä Kymilabsissa. Näiden betonikokeiden ja betonikokekappaleista tehtyjen puristuslujuusmittausten pohjalta havaittiin, että biolentotuhkan käyttäminen esimerkiksi lujuusluokittelemattomassa betonissa voisi tulevaisuudessa olla mahdollista. Laajamittaista tutkimista ja testausta kuitenkin tarvitaan, ennen kuin tuhkia voidaan käyttää korvaamassa osaa betonissa käytettävästä sementistä.

Betonikokeet ovat osa HITU, Biohiilen ja biolentotuhkan mikronisointi ja materiaalisovelukset Kymenlaaksossa -hanketta, jonka päärahoittajana toimii Euroopan aluekehitysrahasto EAKR. Hankkeessa pyritään löytämään ratkaisuja korvaamaan luonnonvarojen käyttöä hyödyntämällä Kymenlaaksossa muodostuvia teollisuuden biopohjaisia sivuvirtoja. Biopohjaisten materiaalien käytöllä on luonnonvarojen säästämisen lisäksi mahdollista vähentää hiilidioksidipäästöjen muodostumista. EAKR:n lisäksi hanketta rahoittavat Rudus Oy ja Kotkan Energia Oy. Hankkeen kesto on 31.8.2018–31.12.2020.

## JOHDANTO

Bio- ja kiertotalouden tutkimuskeskuksessa BioSammossa hienonnetun biolentotuhkan vaikutusta betonin puristuslujuuteen testattiin Xamkin Kotkan kampuksella sijaitsevassa Kymilabsin tutkimusyksikössä. Testaukset toteutettiin kahdessa opinnäytetyössä HITU-hankkeen toimeksiannosta. Ensimmäinen opinnäytetyö valmistui vuonna 2019 ja toinen vuonna 2020. Tässä artikkelissa esitetään opinnäytetyöissä tehtyjen betonikokekappaleiden puristuslujuustuloksia huomioimatta muita töissä esitettyjä tuloksia. Lisäksi esitetään opinnäytetyöissä käytettyjen tuhkien partikkelikokoja ja kemiallista koostumusta.

Betonistandardit eivät salli biolentotuhkan hyödyntämistä betonissa sellaisenaan, ainoastaan kivihiilen ja biomassan yhteispoltosta muodostuvaa tuhkaa voidaan tietyin edellytyksin hyödyntää. Toisaalta biolentotuhkaa voidaan tällä hetkellä käyttää osittaisena sementin korvikkeena sellaisissa betonituotteissa, joita standardit eivät velvoita huomioiden kuitenkin muut tuotteille asetetut lainsäädännölliset velvoitteet. Biolentotuhkan käytöllä voitaisiin vähentää sementin valmistuksesta muodostuvia hiilidioksidipäästöjä, mikä tekee tuhkaista potentiaalisen tutkimuskohteen betonissa. Biolentotuhkaa muodostuu eri biopohjaisten materiaalein poltosta, samoin lentotuhkaa kerätään talteen erityyppisten erottelulaitteistojen avulla, joten sen koostumus vaihtelee eri energiantuotantolaitosten välillä kuten myös yksittäisen laitoksen sisällä. Biolentotuhkan kemiallisen koostumuksen vaihtelevuus aiheuttaa haasteita sen hyödyntämiseen.

HITU- eli Biohiilen ja -lentotuhkan mikronisointi ja materiaalisovellukset Kymenlaaksossa -hankkeen päärahoittajana toimii Euroopan aluekehitysrahasto, ja sitä hallinnoi Kaakois-Suomen ammattikorkeakoulu. Hankkeen kesto on 1.8.2018–31.12.2020. Artikkelin betonin puristuslujuustulokset on saatu seuraavista opinnäytetöistä: Lauri Hakkarainen (2019), *Biolentotuhkan käyttö betoniteollisuudessa* ja Markus Lyytikäinen (2020) *Biohiilen ja biolentotuhkan vaikutus betonin lujuuteen*.

## BETONIKOKEISSA KÄYTETTYJEN BIOLENTOTUHKIEN OKSIDIPITOISUUKSIEN VERTAILUA

Betonikokeisiin valittiin kahden eri voimalaitoksen ja eri raaka-aineiden poltosta syntyneitä lentotuhkia. D1-biolentotuhka on muodostunut pääosin kuoren ja lietteen poltosta ja G2-biolentotuhka puuperäisen polttoaineen ja turpeen poltosta. Betonikokeissa biolentotuhkia hienonnettiin Bio- ja kiertotalouden tutkimuskeskus BioSammon vastasuuhkujauhintekniikkaan perustuvalla mikronisointilaitteistolla. Kertaalleen hienonnettuja tuhkia D1J1 ja G2J1 sekä kuusi kertaa hienonnusprosessin läpikäynyttä tuhkaa G2J6 käytettiin betonikokeissa osittaisina sementin korvaajina tuhkien osuuksien vaihdeltaessa pääosin 10–40 prosentin välillä. Kokeissa käytetty portlandseossementti oli Rapid CEM II/A-LL 42,5R -pikasementtiä.

Alla olevassa taulukossa 1 on esitetty molempien tuhkien laskennalliset oksidipitoisuudet alumiinille (Al), kalsiumille (Ca), raudalle (Fe), magnesiumille (Mg) ja piille (Si). Taulukkoon on lisätty kirjallisuudessa esitetyt oksidipitoisuudet kivihiilen poltossa syntyvälle tuhalle ja kokeissa käytetylle portlandseossementille. Taulukosta nähdään muun muassa, että biolentotuhkien  $\text{Al}_2\text{O}_3$ -pitoisuus on kivihiilituhkien minimitasolla, toisaalta portlandseossementtiin verrattuna biolentotuhkien  $\text{Al}_2\text{O}_3$ -pitoisuus on yli kaksinkertainen. Viiden vertailussa olevan oksidin kesken suurin pitoisuusvaihtelu on CaO-pitoisuuksissa, esimerkiksi portlandseossementissä on noin 18-kertainen pitoisuus CaO:a kivihiilituhkaan verrattuna. Kivihiilituhkassa on noin kaksinkertainen pitoisuus  $\text{SiO}_2$ :sta portlandseosse-

menttiin ja G2-tuhkaan verrattuna. Betonikokeissa käytetyillä biolentotuhkilla on keskenään huomattavat erot CaO- ja SiO<sub>2</sub>-pitoisuuksissa. Tuhkan kemialliseen koostumukseen vaikuttavat muun muassa voimalaitoksella käytetyt polttoaineet, tuhkan keruutapa ja polttolämpötila. Nämä tekijät selittävät osaltaan oksidipitoisuuksien vaihtelun eri tuhkien välillä. Erot kemiallisessa koostumuksessa hankaloittavat biolentotuhkien hyötykäyttöä tuhkien muodostaessa heterogeenisen joukon materiaalia.

**TAULUKKO 1.** Biolentotuhkien D1 ja G2, kivihiilituhkien ja portlandseossementin oksidipitoisuuksia (Taipale 1996, Alakankaan 2000, 133 mukaan; Finnsementti Oy 2019)

		Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	CaO (%)	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	MgO (%)	SiO <sub>2</sub> (%)
<b>Biolentotuhka</b>	D1	13,2	26,9	1,7	2,3	36,8
	G2	11,9	46,9	1,2	2,8	22,9
<b>Kivihiilituhka</b>	ka	23	3,6	9,5	2,1	51
	min/max	11/41	0,5/6,4	2,7/20	0,3/8	42/67
<b>Rapid CEM II/A-LL 42,5R -sementti</b>	-	4,7–5,1	63–65	3,2–3,4	2,7–3,2	20–22

Toisin kuin kivihiilen lentotuhkaa, biolentotuhkan hyödyntämistä sellaisenaan ei mainita betonin valmistukseen liittyvissä standardeissa. Kivihiilen lentotuhkalle suotuisa ominaisuus on sen pozzolaanisuus, jolloin lopputuotteena muodostuu kalsiumsilikaattihydraatitigeeliä tuhkan ja kalsiumhydroksidin reaktiossa (Betoniteknikan oppikirja 2018, 56). Sementtistandardissa SFS-EN 197-1 (2012, 11–12) esitetyissä sementin osa-aineissa tuhkien osalta mainitaan kivihiilen tuhkat viitaten samalla lentotuhkamääritelmään standardissa SFS-EN 450-1. Kyseisessä standardissa (2013, 7–8) esitetään yhteispoltossa syntyvät lentotuhkat ja rajat niiden hyödyntämiselle betonissa. Standardin mukaan yhteispoltossa poltetaan jauhetun hiilen kanssa yhtä tai useampaa erikseen määriteltyä oheispolttoainetta. Hiilen kuivamassan osuuden tulee tapauksesta riippuen olla vähintään 50–60 prosenttia, ja oheispolttoaineista muodostuvaa lentotuhkaa saa kokonaislentotuhkassa olla enintään 30 prosenttia kuivapainosta. Oheispolttoaineiksi on mainittu esimerkiksi kiinteät biopolttoaineet, yhdyskuntajätevesiliete ja paperiliete.

Standardissa SFS-EN 450-1 (2013, 9) määritellään edellä esitetyn lisäksi lentotuhkalle muun muassa kemiallisia laatuvaatimuksia, kun tuhkaa käytetään standardin mukaisissa betonivalmisteissa. Yksi esitetyistä vaatimuksista on pii-, alumiini- ja rautaoksidien yhteispitoisuus, jonka tulee olla vähintään 70 painoprosenttia. Taulukon 1 esitetyjä pitoisuuksia hyödyntäen D1-tuhkalle saadaan yhteispitoisuudeksi 51,8 prosenttia, G2-tuhkalle 36,0 prosenttia ja kivihiilituhkalle (ka) 83,5 prosenttia. Näin ollen vain kivihiilituhka täyttää kyseisen laatuvaatimuksen. Toinen standardin esittämistä vaatimuksista on magnesiumoksidin suurin sallittu pitoisuus yhteispoltton lentotuhkille, ja pitoisuus saa enimmillään

olla 4,0 painoprosenttia. Taulukossa esitetyistä MgO-pitoisuuksista vain kivihiilituhkan maksimiarvo ylittää suurimman sallitun MgO-pitoisuuden.

## BETONIKOKEIDEN PURISTUSLUJUUSTULOKSET JA BIOLENTOTUHKIEN KESKIPARTIKKELIKOKO DV(50)

Biolentotuhkaa sisältäville betonikuutioille sekä vertailubetonikuutioille määriteltiin puristuslujuudet Kymilabsin betonilaboratoriossa, jossa kuutiot valmistettiin standardin SFS-EN 12390-2 mukaisesti ja puristuslujuus mitattiin standardin 12390-3 mukaisesti. Lisäksi ensimmäisessä opinnäytetyössä puristuslujuudet määritettiin kivihiilituhkaa sisältäville betonikuutioille. Puristuslujuuskokeissa saadut tulosten keskiarvot on esitetty taulukossa 2. Vertailubetonien valmistuksessa ei käytetty lainkaan tuhkaa. Lisäksi taulukkoon on lisätty tuhkille tehtyjen partikkelikokoanalyysien keskipartikkelikokotulokset, D<sub>v</sub>(50). Analyysit suoritettiin vedessä käyttäen ultraäänihajotusta agglomeraattien rikkomiseksi. Kuvassa 1 on esitetty betonikuutio, josta on mitattu puristuslujuus Kymilabsissa sekä ensimmäisessä opinnäytetyössä käytettyjä lentotuhkia. Kuvasta voidaan nähdä lentotuhkien sävyeroja.



**KUVA 1.** Esimerkki puristuslujuustestissä käytetystä betonikuutiosta, lisäksi ylemmässä näytepurkissa on G2J1-tuhkaa ja alemmassa kivihiilen lentotuhkaa (kuva Eveliina Kuokkanen).

Taulukosta 2 voidaan nähdä, kuinka D1-, D1J1-, G2- ja G2J1-tuhkien sekä kivihiilituhkien kohdalla 20 prosentin tuhkaosuus sementissä on puristuslujuuden kannalta parempi kuin suurempi 40 prosentin osuus. Toisen opinnäytetyön lujuuskokeisiin valittiin biolentotuhkan määrät edellisen opinnäytetyön tulosten perusteella. Biolentotuhkan osuukseksi sementissä valittiin 10, 20, 30 ja 70 prosenttia, ja parhaimmat puristuslujuustulokset antoivat jälleen 20 prosentin tuhkaosuudet. 70 prosentin biolentotuhkan osuus sementissä vaikutti betonimassan työstettävyyteen, eikä massasta saatu tehtyä koekuutioita eikä näin mitattua puristuslujuuksia.

G2J1 (20 %), kivihiili (20 ja 40 %) ja kaikki BT (G2J6) -tuhkaa sisältäneiden betonikuutioiden puristuslujuustulokset olivat vertailubetoneiden tuloksia suuremmat. Toisaalta opinnäytetöissä esitetyt tavoitelujuudet ulkona oleville rakenteille (K37, C30/37) toteutuivat jokaisen keskiarvotuloksen kohdalla lukuun ottamatta G2J1 (40 %) -tulosta.

Ensimmäisen opinnäytetyön biolentotuhkatuloksista parhaimmat puristustulokset saatiin G2J1-tuhkasta, minkä vuoksi kyseinen tuhka valikoitui lisätutkimuksiin toiseen opinnäytetyöhön. Lisätutkimuksia varten G2-tuhkaa hienonnettiin edelleen, ja tuhkan lopullinen keskipartikkelikoko  $D_v(50)$  oli  $6,4 \mu\text{m}$ . Partikkelikoon pieneneminen vaikuttaisi parantavan puristuslujuutta vertailtaessa G2 (20 %), G2J1 (20 %) ja BT (G2J6 (20 %)) -tuloksia keskenään. On mahdollista, että materiaalia hienonnettaessa muodostunut lisääntynyt pinta-ala ja sitä kautta reaktiivisuus vaikuttavat tuloksiin. Kemialliset reaktiot tapahtuvat aineen pinnassa. Tämä voi selittää hienontamisen ja sitä kautta kasvaneen pinta-alan tuoman lisän betonin puristuslujuuksissa.

HITU-hankkeen aikana saadut tulokset betonin puristuslujuuksista ovat lupaavia ja mielenkiintoisia. Aihetta onkin syytä tutkia enemmän. Tehdyissä opinnäytetöissä tutkittiin kevyesti myös muita betonin ominaisuuksia, kuten leviävyyttä ja työstettävyyttä. Edellä mainittujen lisäksi on lukuisia muita ominaisuuksia, jotka pitää huomioida, kun biopohjaista lentotuhkaa harkitaan käytettäväksi betonissa. Yksi mielenkiintoinen tutkimuksen kohde olisi pelkän hienontamisen vaikutus betoniin, jolloin voisi muun muassa hienontaa sementtiä entisestään, tai betonissa käytettävän hiilen poltossa syntyneen lentotuhkan hienontaminen. Näillä tutkimuksilla voisi tarkastella itse hienontamisen vaikutusta betonin ominaisuuksiin.

**TAULUKKO 2.** Opinnäytetöissä tehtyjen betonikokeiden keskiarvoisia puristuslujuustuloksia sekä tuhkien partikkelikotuloksia, Dv(50).

Materiaali	Tuhkan partikkelikoko Dv(50), µm	Tuhkan osuus sementistä (%)	Puristuslujuus (MPa), 28 vrk	Puristuslujuus (MPa), 91 vrk
<b>Vertailubetoni 1</b>	-	0	49,5	57,6
<b>D1</b>	62,8	20	45,2	52,9
		40	42,6	48,9
<b>D1J1</b>	42,7	20	47,5	54,3
		40	44,0	37,8
<b>G2</b>	50,1	20	46,2	53,6
		40	37,7	37,8
<b>G2J1</b>	31,8	20	51,9	60,9
		40	36,2	43,5
<b>Kivihiiili</b>	27,3	20	56,1	71,7
		40	50,9	66,3
<b>Vertailubetoni 2</b>	-	0	44,4	54,3
<b>BT (G2J6)</b>	6,4	10	52,3	63,5
		20	56,5	67,5
		30	54,5	63,4

## YHTEENVETO

Betonin kovettuminen kemiallisena ilmiönä on monimutkainen prosessi, lisäksi valmiiseen betoniin ja siinä olevaan raudoitukseen vaikuttavia tekijöitä on lukuisia. Näitä kemiallisia reaktioita ei tehdyissä tutkimuksissa sivuttu. Jotta biolentotuhkaa voitaisiin käyttää betonissa, sen kemiallista koostumusta ja tunnettujen haitta-aineiden pitoisuuksia pitäisi tarkastella. Lisäksi betonin ominaisuuksia on analysoitava selvästi näitä tutkimuksia laajemmin. Biolentotuhkan hyödyntämistä tutkittaessa pitää huomioida, että biolentotuhkan koostumus vaihtelee muun muassa poltettavan raaka-aineen mukaan sekä eri laitosten välillä. Lisäksi on syytä ottaa huomioon lentotuhkan vaikutukset betonimassan ja kovettuneen betonin ominaisuuksiin, kuten käytettyjen lisäaineiden toimintaan, työstettävyyteen ja valmiin betonin väriin.

HITU-hankkeessa ja opinnäytetöissä tehdyt betonin puristuslujuustutkimukset antoivat osviittaa siitä, että materiaalin hienontaminen parantaa lujuuden kehitystä. Jotta voidaan tehdä luotettavia johtopäätöksiä, tarvitaan lisäkokeita selvittämään partikkelikoon todel-

linen merkitys. Tätä voisi tarkastella esimerkiksi hienontamalla sementtiä entisestään tai hienontamalla betonissa tällä hetkellä käytettävää hiilen poltossa syntynyttä lentotuhkaa.

Hankkeessa tehtyjen betonikokeiden ja niistä tehtyjen puristuslujusmittausten pohjalta havaittiin, että biolentotuhkan käyttäminen betonissa voisi olla tulevaisuudessa mahdollista. Laajamittaista tutkimista ja testausta kuitenkin tarvitaan, ennen kuin tuhkia voidaan käyttää korvaamassa osaa betonissa käytettävästä sementistä. Biolentotuhkan hyödyntäminen betonissa on tutkimuskohteena erittäin mielenkiintoinen monestakin syystä. Kivihiilen polttaminen loppuu Suomessa vuonna 2029, jonka jälkeen tuoretta hiilenpolton lentotuhkaa ei enää ole saatavilla Suomesta. Sementin valmistus tuottaa yli prosentin Suomen kaikista kasvihuonepäästöistä, joten sementtiä korvaavien materiaalien käyttäminen vähentää rakentamisen hiilijalanjälkeä. Lentotuhkan hyödyntäminen betonissa vähentää myös uusiutumattomien raaka-aineiden kulutusta, jos lentotuhkan avulla voidaan vähentää kalkkikiven käyttöä samalla, kun teollisuuden sivuvirralla löydetään uusi käyttökohde.

## LÄHTEET

Alakangas, E. 2000. Suomessa käytettävien polttoaineiden ominaisuuksia. VTT tiedotteita 2045. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://www.vttresearch.com/sites/default/files/pdf/tiedotteet/2000/T2045.pdf> [viitattu 18.8.2020].

Betonitekniikan oppikirja. 2018. By 201. Suomen Betoniyhdistys ry. ISBN 978-952-68619-4-4.

Finnsementti Oy. 2019. Rapidsementti Parainen. Sementit kesäkuu 2019. Nopeasti kovettuva portlandseossementti. CEM II/A-LL 42,5 R. PDF-dokumentti. Saatavissa: [https://finnsementti.fi/wp-content/uploads/Rapidsementti\\_Parainen\\_fi-1.pdf](https://finnsementti.fi/wp-content/uploads/Rapidsementti_Parainen_fi-1.pdf) [viitattu 18.8.2020].

SFS-EN 197-1. 2012. Sementti. Osa 1: Tavallisten sementtien koostumus, laatuvaatimukset ja vaatimustenmukaisuus.

SFS-EN 450-1. 2013. Betoniin käytettävä lentotuhka. Osa 1: Määritelmät, laatuvaatimukset ja vaatimustenmukaisuus.



# PARTIKKELIKOON JA -KOKOJAKAUMAN MÄÄRITYKSET BIOSAMMOSSA, ESIMERKKINÄ TIILI

Eveliina Kuokkanen & Teemu Karttaavi

Bio- ja kiertotalouden tutkimuskeskus BioSammossa sijaitseva laitekanta mahdollistaa materiaalien murskaus- ja hienonnuskokeet pilot-mittakaavassa. Vastasuuhkujauhimien avulla materiaalit saadaan hienonnettua alle kymmenen mikrometrin kokoluokkaan. BioSammon laitekantaa vahvistettiin kesällä 2020 investoimalla partikkelikokoanalysointilaiteeseen ja seulaan. Laserdiffraktioon perustuva partikkelikokoanalysointilaite on Microtrac M5001 -laite, joka kokomäärityksen lisäksi kuvantaa partikkelit. Retschin AS200 Control -seulaan saadaan määriteltyä materiaalien kokojakaumia.

Hankittavalla laitekannalla mahdollistetaan tarkat ja nopeat partikkelikoon ja -kokojakauman määritykset, jolloin BioSammossa tehtävien hienonnusprosessien kehittäminen helpottuu. Lisäksi voidaan selvittää lähtömateriaalin kokojakauma esimurskaustarpeen arvioimiseksi tai valita tietyn kokovälin materiaali prosessoitavaksi seuraavaan materiaalin käsittelyvaiheeseen.

BIOKE – Haastavien materiaalien tutkimus ja kierrätyksen edistäminen BioSammossa -hanke alkoi 1.1.2020 ja jatkuu 31.8.2022 saakka. Kehityshankkeen rinnalla alkoi samaan aikaan BIOKE, investoinnit -hanke, joka jatkuu 31.5.2021 asti. Molempien hankkeiden päärahoittajana toimii Euroopan aluekehitysrahasto, lisäksi hankkeita rahoittavat Kaakkois-Suomen Ammattikorkeakoulu Oy ja Umacon Oy (kehityshankkeen osarahoitus). Hankkeita hallinnoi Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu.

## JOHDANTO

BIOKE-hankkeen tavoitteena on edistää materiaalien hyödyntämistä ja lisätä materiaalien arvoa sekä vähentää loppusijoitettavan jätteen määrää mikronisoinnin tai muun hienonnutekniikan avulla. Jo olemassa olevan materiaalin tehokkaammalla hyödyntämisellä voidaan vaikuttaa raaka-aineen valmistuksessa muodostuviin hiilidioksidipäästöihin ja luonnonvarojen kulutukseen.

Hankkeessa etsitään innovatiivisia ratkaisuja hienontamalla haasteellisesti kierrätettäviä materiaaleja tai sellaisia materiaaleja, joiden kierrätystä halutaan parantaa. Hienontamiseksi

lasketaan sekä murskaus (karkea mittakaava) että jauhatus (mikronisointi). Hienontamisen hyötyinä ovat reaktiivisuuden lisääntyminen pinta-alan kasvun myötä sekä materiaalin tasalaatuisuuden lisääntyminen. Hankkeeseen kuuluvat laitekannan investoinnit tehdään BIOKE, investoinnit -hankkeessa. Kyseisessä hankkeessa on kevään ja kesän 2020 aikana hankittu kaksi laitetta, seulakone sihtisarjoineen ja partikkelikokoanalysointori partikkelikoon ja -kokojakautuksen määrittämiseksi. Laitteet tukevat tutkimustoimintaa mahdollistaen määrittysten ja analyysitulosten tekemisen samanaikaisesti hienonnuskoeajojen kanssa. Valssimurskattu tiili oli yksi ensimmäisistä laitteilla analysoiduista materiaaleista.

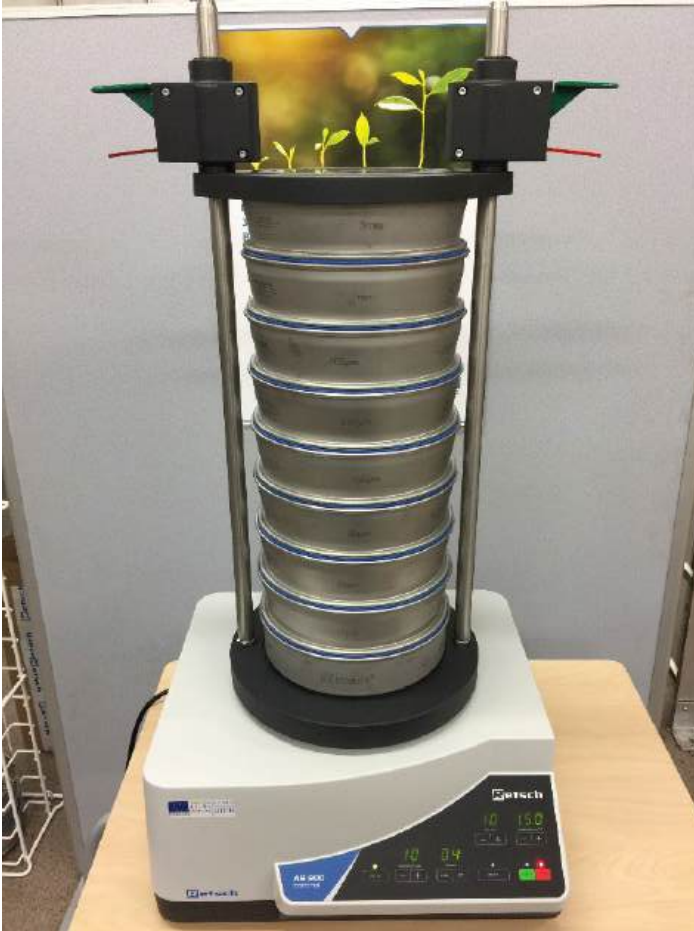
## VALSSIMURSKATUN TIILEN KOKOJAKAUMA

BIOKE-hankkeessa hienonnetaan sekä uutta että käytettyä materiaalia BioSammon laitekannalla. Valssimurskaimen soveltuvuus tiilelle voidaan nähdä kuvassa 1.



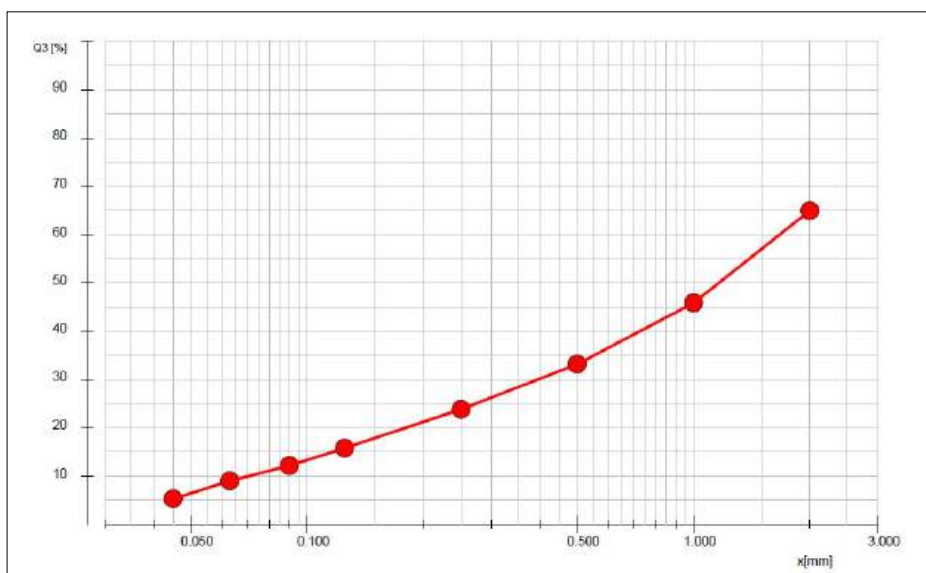
**KUVA 1.** Tiili valssimurskauksen jälkeen (kuva Eveliina Kuokkanen).

Silmämääräisesti tarkasteltuna valssimurskattu tiili sisälsi partikkeleita hienoista hiukkasista muutamien millimetrin kokoihin palasiin. Materiaali seulottiin Retschin AS200 Control -seulakoneella (kuva 2). Seulonta suoritettiin kuivaseulontana seulonta-ajan ollessa 5 minuuttia, intervallin ollessa 10 sekuntia ja amplitudin 1,0 mm. Seulonnassa käytettiin sihtejä 2; 1; 0,5; 0,25; 0,125; 0,090; 0,063 ja 0,045 mm.



**KUVA 2.** BioSammon seulakone AS200 Control, Retsch (kuva Eveliina Kuokkanen).

Seulontakoneesta saadut tulokset voi nähdä kuvasta 3. Tulosten mukaan 2/3 materiaalin massasta jäi kolmelle ylimmälle sihdille (2, 1 ja 0,5 mm), mutta osa massasta läpäisi myös tiheimmän 0,045 mm:n sihdin päätyen pohja-astiaan. Ensimmäisen seulontakerran lisäksi valssimurskatulle tiilelle suoritettiin toinen seulonta, jonka tarkoituksena oli saada näyte pohja-astiaan kertyvästä materiaalista partikkelikokoanalyysaattorin testausta ja partikkelikokoanalyysjä varten.



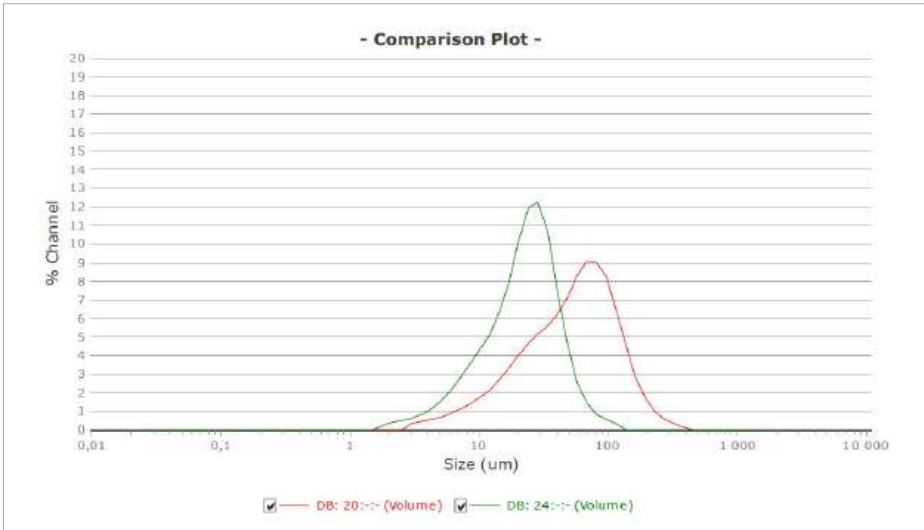
**KUVA 3.** Seulakoneella seulotun tiilen läpäisyprosentit käytetyille sihdeille. Seulotulle tielle tehty partikkelikokoanalyysit.

Seulotulle tielle tehtiin kaksi partikkelikokoanalyysiä laserdiffraktioon perustuvalla Microtrac M5001 -partikkelikokoanalyysaattorilla. Laite mittaa partikkelikoon kolmella punaisella laserilla mittausalueen ollessa 0,02–2000  $\mu\text{m}$ . Lisäksi laitteen kamera kuvantaa osan näytevirran partikkeleista näytteen partikkelien muodon havaitsemiseksi. BioSammossa oleva laite mittaa partikkelikoon märkämenetelmällä, jossa analysoitava näyte lisätään sopivaan väliaineeseen. Useimmiten väliaineena toimii puhdas vesi, mutta myös muun muassa alkoholit ovat mahdollisia kantajia. Väliainetta valitessa tulee huomioida, etteivät analysoitavat näytteet liukene väliaineena käytettävään nesteeseen. Tiilinäytteet analysoitiin vedessä ja ennen mittauksia ne käsiteltiin ultraäänellä mahdollisten agglomeraattien rikkomiseksi.

Ensimmäinen tiilinäyte sisälsi seulakoneella seulotun materiaalin sihdeiltä 90, 63, 45  $\mu\text{m}$  ja pohja-astialle päätyneen materiaalin. Toinen näyte sisälsi pelkän pohja-astialle päätyneen materiaalin. Analyysaattori mittasi molemmat näytteet kolme kertaa mittausten ollessa keskenään vertailukelpoisia. Taulukossa 1 esitetyt tulokset ovat mittausten keskiarvoja. Näytteiden koontien perusteella oli odotettavissa, että näytteen 1 keskipartikkelikoko  $D_v(50)$  on näytteen 2 vastaavaa suurempi. Näytteen 1 keskipartikkelikoko (55,1  $\mu\text{m}$ ) olikin yli kaksi kertaa näytteen 2 keskipartikkelikoko (23,0  $\mu\text{m}$ ) suurempi. Kuvasta 4 voidaan nähdä näytteen 1 (punaisella) ja näytteen 2 (vihreällä) partikkelikokojakaumat.

**TAULUKKO 1.** Kahden tiilinäytteen keskipartikkelikokotulokset, Dv(50)

	Näytteen koonti seulakoneelta	Keskipartikkelikoko Dv(50)
Näyte 1	Sihtien 0,090, 0,063 ja 0,045 mm:n sekä pohja-astian materiaali	55,1 µm
Näyte 2	Pelkkä pohja-astian materiaali	23,0 µm



**KUVA 4.** Tiilinäytteiden 1 (punaisella) ja 2 (vihreällä) partikkelikokojakaumat.

## LOPUKSI

Tiilinäytteiden partikkelikokoanalysoinnista ja seulakoneesta saadut tulokset ovat toisiaan tukevia, ja molemmat laitteet ovat olennainen lisä BioSammossa tehtävälle hienontamistutkimukselle ja hienontamisprosessien kehittämiseksi. Seulakoneella voidaan arvioida hienonnettavan materiaalin esikäsittely- ja murskaustarvetta, toisaalta seulakoneesta voidaan suoraan valita tietyn kokovälin materiaali hienonnutuksiin. Hienonnutuksen kehittämistarpeita saadaan selville muun muassa vertailemalla käsittelemättömän ja käsitellyn (hienonnetun) materiaalin partikkelianalyysin kokojakaumia keskenään. Näillä uusilla menetelmillä analyysit ja määritykset voidaan tehdä välittömästi nopeuttaen prosessin ohjaamista haluttuun suuntaan.

Seuraavaksi on tarkoitus hienontaa myös muilla BioSammon hienonnutuslaitteilla eri materiaaleja ja arvioida niiden jauhaantuvuutta sekä mahdollisia hyötykäyttökohteita. Lisäksi tehdään käytännön kokeita, joissa käsiteltyjä materiaaleja testataan valituissa sovelluskohteissa.

# KIERTOTALOUDEN OSAAMIS- KESKUS 2030: MIELIKUVITUKSEN SIIVIN TULEVAISUUDEN YRITYS- TARINOIHIN HYÖTYVIRTA- ALUEELLA!

Ville Rätty & Melina Maunula

Kiertotalouden liiketoiminta-, TKI- ja koulutusedellytyksiä Hyötyvirta-yritysalueella kehitetään keväällä 2020 alkaneessa KOSKES-hankkeessa. Kehittämisen keskiössä on ajatus rakennuksesta, joka toimisi porttina alueelle ja toisi yhteen kiertotalouden osaajat alueellisesti ja kansainvälisesti sekä palvelisi monipuolisesti alueen eri toimijoita. Tarinallistamisen keinoin olemme päässeet ideoimaan tämän Koskes-keskuksen tarjoamia mahdollisuuksia: toivomme vuodelle 2030 ajoittuvan tekstin herättävän lukijassa ajatuksia ja innostavan mukaan kehittämiseen. Tavoitteenamme on hankkeen edetessä luoda kiertotalouden osaamiskeskuskonsepti, joka palvelee Kymenlaakson kiertotaloustoimijoita niin hyvin, että se toteutuessaan toimisi niille merkittävänä vetovoimatekijänä ja kilpailuetuna.

## JOHDANTO

Keväällä 2020 käynnistyneen KOSKES – kiertotalouden osaamiskeskus -hankkeen tavoitteena on muodostaa Hyötyvirta-yritysalueelle edellytykset kiertotalouteen keskittyvälle osaamiskeskukselle, johon kuuluu yritystoiminnan lisäksi merkittävää tutkimus-, kehitys- ja innovaatiotoimintaa sekä koulutusta (Kinno 2020a, Xamk 2020, KSAO 2020). Hanketta toteuttavat Uudenmaan liiton myöntämän Euroopan unionin aluekehitysrahaston rahoituksen turvin Kouvola Innovation Oy (Kinno), Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu (Xamk) sekä Kouvolan seudun ammattiopisto (KSAO). Kehityksen keskiössä oleva Hyötyvirta-alue sijaitsee Kouvolan Keltakankaalla, ja siellä on nykyisellään ympäristöliiketoimintaan keskittyvää yritystoimintaa (Hyötyvirta 2020, Kinno 2020b). Hankkeen tulosten odotetaan lisäävän liiketoimintamahdollisuuksia ja materiaalien uudelleenkäyttöä sekä vähentävän neitseellisten raaka-aineiden tarvetta uusien tuotteiden valmistuksessa ja sitä kautta edistävän erityisesti vähähiilisyyttä ja resurssitehokkuutta. Osaamiskeskus antaa toteutuessaan uusia edellytyksiä alueelliselle kiertotalouden tutkimus- ja kehitystoiminnalle, koulutukselle ja verkostoyhteistyölle.

## TULOKSIA TARINAN KEINON

Edellä esitetty tiivistelmä hankkeen tavoitteista perustuu hankesuunnitelman tekstiin. Usein meiltä hanketoimijoilta perätään lisää konkretiaa: mitä tämä tarkoittaa käytännössä? Hankesuunnitelmassa on toki määritelty toimenpiteitä ja työpaketteja, mutta niiden selostaminen tuskin vastaa kysymykseen halutulla tavalla. Muuta vastausta on kuitenkin vaikea antaa, varsinkaan tulevaisuusorientoituneessa ja strategiatyöhön painottuvassa hankekokonaisuudessa, kuten KOSKES. Meillä ei ole kristallipalloa, ja tulos riippuu paljon myös muusta ja muista kuin meistä hanketoimijoista. Vaikka taustatyötä on tehty paljon ja saatu rahoitusta kehitystyön tueksi, ollaan vielä kaukana siitä, että osaamiskeskuksen nouseminen tontille olisi varmaa tai sen toiminnot tiedossa. Ja onneksi niin! Jotta hanke voi onnistua, tarvitsemme yhteistyötä: emme tee hanketta itsellemme vaan yritysten ja alueen hyväksi sekä kiertotalouden edistämiseksi. Nyt on oikea aika osallistua, esittää toiveita ja tarpeita sekä asettaa yhteisiä tavoitteita. Tarvitsemme kaukonäköisyyttä ja kunnianhimoa.

Tarinallistaminen on hyvä keino havainnollistaa ja luoda mielikuvia asioista (Kalliomäki 2014, Auvinen et al. 2013, Barker & Gower 2010). Hyvän tarinankerronnan avulla saadaan lukija tempautumaan mukaan tarinaan ja näkemään kerrottu omin silmin. Hyvä tarina jää myös lukijan mieleen. Tarinallistamista havainnollistamisen keinona on käyttänyt muun muassa Turun yliopiston Tulevaisuuden Tutkimuskeskus. He kuvasivat Kouvolan energiatulevaisuuden tarinaan, joka toimi myös asiantuntijatyöpajan tulosten tiivistelmänä (Tulevaisuuden tutkimuskeskus 2014). Tarinassa kerrottiin kuvitteellisesta uutisesta, joka kertoi Juho ”Negawatt” Vainion monialaisesta bio- ja energia-alan yrityksestä vuonna 2030.

Asettakaamme siis katseemme pidemmälle tulevaisuuteen. Miltä haluamme arjen näyttävän alueellisessa kiertotalouden osaamiskeskuksessa? Tässä siitä esimerkki: päiväkirjamainen tarina, joka sijoittuu vuoteen 2030 ja Kouvolan Hyötyvirta-yritysalueella sijaitsevaan, toimintansa jo vakiinnuttaneeseen kiertotalouden osaamiskeskukseen. Yrittäjän ja sijoittujan näkökulmasta kirjoitettu kertomus tarjoaa ideoita siitä, mitä kiertotalouden osaamiskeskus toteutuessaan voisi tarjota ja millaista siellä toimiminen tai vieraileminen voisi olla. Seuraavassa kuvassa näkyy hahmotelma siitä, miltä Koskes-keskus voisi toteutuessaan näyttää.



**KUVA 1.** Havainnekuva Koskes-keskuksesta (kuva Kinno 2019).

## RAKAS PÄIVÄKIRJA

Tässä on tarina normaalista työpäivästäni Hyötyvirta-yritysalueella sijaitsevassa kiertotalouden osaamiskeskuksessa Koskeksessa.

Olen töissä Kieroxmän Oy:ssä, joka on kiertotalouteen keskittyvä yhden miehen startup-yritys. Yrityksen liikeidea perustuu erilaisten työkalujen kunnostukseen, ja yritys on myös saanut liikeidean kehittämiseen apua Business Finlandilta 100 000 euroa. Tällä hetkellä on menossa rautakankien oikaisupalvelun kehittäminen. Kehitystyö on kovassa vauhdissa Koskes-keskuksen TKI-alustalla, jossa oikaisukoneen automaation suunnittelu on jo viimeistelyssä.

Päiväni alkaa siitä, kun saavun Hyötyvirta-alueelle tammikuisena aamuna jo ennen aurin-gonnousua. Näen interaktiivisesta opastaulusta, että alueelle on sijoittunut taas uusi yritys. Yritys on tehnyt minua varten opastaululla näkyvän personoidun tarjouksen, jonka saa käyttöön koodilla ”suoraksvaan”. Saisin avajaistarjouksena -10 % kierrätetyistä koneiden varaosista. Kurvaan kuitenkin suoraan Koskeksen pihaan, koska edessä on kiireinen päivä ja tarkoituksena on vartin yli yhdeksän aloittaa opiskelijaryhmien harjoitustöiden läpikäynnit.

Näemmä Jussi Kolio Xamkista on tullut vielä aikaisemmin töihin. Näen hänet hakemassa lähiruokaa tarjoavasta kahvilasta aamulla leivotun possun ja kahvin. Otan itsekin kahvin ja pyydän Jussia istumaan seuraksi. Jussi kertoo uusimpia kuulumisia TKI-investoinneista, joita on hankittu täydentämään Koskes-keskuksen toimintaa, ja alkaa valistamaan, että minunkin pitäisi vielä miettiä, voisiko yritykseni kuitenkin keskittyä ennemmin valmistamaan laitteita geopolymeerien tuotantoon. Geopolymeerit on nyt päivän sana, vaikkakin ne ovat olleet jo tietyissä piireissä pitkään tiedossa. Niitä voidaan valmistaa tietyistä rakentamisen



jätteistä, ja ne sopivat vaikkapa korvaamaan sementtiä betonin valmistuksessa (Abdulkareem et al. 2019, Oulun yliopisto 2016). Sementin valmistaminen tuottaa hirmuisesti CO<sub>2</sub>-päästöjä (Timperley 2018), joten ollaan tärkeän äärellä. Kahvit on juotu ja kiitän Jussia tiedoista ja yritän painaa mieleeni pääpointit. Voisihan se olla tulevaisuudessa hyväkin idea vaikka sitten, kun kaikki rautakanget on tältä seutukunnalta suoristeltu.

Elämä alkaa vilkastua Koskeksessa, kun opiskelijoita alkaa ilmaantua paikalle odottamaan projektitöiden aloitusta. Tunnistan jo osan opiskelijoista. Tervehdin heitä hymyillen kävellessäni kohti toimistokonttiani. Edellisenä kesänä vuokrasin Kieroxmän-yritykselleni toimistokontin Koskeksesta. Silloin ajattelin, että yhden miehen firmalla ei olisi muuten mahdollista hankkia näin ylellisiä työskentelytiloja. Toki myös hyötyisin muiden startup-yrittäjien seurasta. Pidimme juuri viime joulukuussa yhteiset pikkujoulut muiden yrittäjien kanssa, niin ei tarvinnut yksin kilistellä.

Osaamiskeskuksessa muita startup-yrittäjiä taitaa olla tällä hetkellä kolme, ja kaikilla on oma toimistokontti. Kaikki käyttävät yhteisiä sosiaali- ja neuvottelutiloja. Neuvottelutiloihin hankittiin covid-19-viruksen seurauksena huippuluokan etäyhteydet, jotka soveltuvat hyvin monipuoliseen yhteydenpitoon eri puolille maailmaa (mm. Dufva & Wärynen 2020). Etäyhteydet mahdollistavat tiiviin yhteistyön kumppaneihin, jotka eivät sijaitse alueella. Verkostomainen toiminta tuo aina parhaan osaamisen lähelle, ja Hyötyvirta-alueen kiertotalouden osaamiskeskus on tunnettu ja haluttu kumppani kiertotaloustoimijoiden piirissä sekä kansallisesti että kansainvälisesti. Etäyhteyksissä erityisen hyväksi ominaisuudeksi on osoittautunut 3D-tykin tuottama reaalikokoinen 3D-kuva. Neuvottelut sujuvat aivan kuin oltaisiin samassa tilassa! Esitettyihin kuviin saa vielä lisättynä todellisuutena mitta-asteikon ja kohteen mitat, jotka helpottavat osien soveltuvuuden arvioinnissa. Monesti juuri oikean komponentin löytäminen kehitysprojekteihin on haastavaa, mutta tämän avulla on säästyty monelta palautusrumbalta, kun on todettu jo neuvotteluiden alussa komponenttien olevan väärän mallisia.

Huomaan, että aika on rientänyt, ja olen jo viisi minuuttia myöhässä opiskelijoiden harjoitustöiden läpikäynnistä. Kiiruhdan Koskeksen takaosan kautta erilliseen yksikköön, jonne suurin osa TKI-toiminnasta on keskitetty. Kun saavun tilaan, ovat opiskelijat jo ehtineet valmistella esityksiä ja ensimmäinen ryhmä on valmiina. Ensimmäinen ryhmä koostuu usean eri alan opiskelijoista, jotka esittelevät ratkaisuaan rautakankien käyryyden määrittämiseen. Ryhmän monialaisuudesta on selkeästi ollut hyötyä harjoitustyössä, ja siinä on osattu hyvin huomioida, että käyryys voi olla vain pienellä osalla kankea. Muissa harjoitustöissä käsitellään uudelleen pinnoitusta ja suoristamista. Harjoitustöitä ohjaava opettajakin on erittäin tyytyväinen aamupäivän antiin. Minulta oli oikea päätös solmia yhteistyösopimus ja tilata TKI-palveluita avukseni. Tällaisella yhteistyöllä saan paljon suuremman hyödyn saamalla Business Finlandin myöntämälle kehittämistuella.

Kello lähenee jo lounasaikaa. Käyn hakemassa take away -lounaan kahvilasta ja menen syömään sitä toimistokonttiin. Käyn syödessäni läpi aamun sähköpostit ja lähetän muutamia kyselyitä mahdollisille asiakkaille ennen kuin iltapäivän käytän asiakkaiden lähettämien koneiden kunnostukseen. Tällä hetkellä suurin kysyntä on käsityökalujen akkujen kunnostuksella. Monella pienellä firmalla on kasapäin vanhoja akkuja ja niihin käyviä käsityökaluja. Työkalut itsessään ovat ihan käyviä, mutta akuista on paras puhti jo poissa. Viime vuosien kova sähköautobuumi sai aikaan hyviä innovaatioita myös käsityökalujen akkuihin. Nyt on mahdollista tuhlata vanhojen akkujen kapasiteetti hyvinkin edullisesti. Tämä on kiertotaloutta parhaimmillaan, ja Kieroxmän Oy olikin mukana Sitran kiinnostavimmat kiertotalousyritykset -listalla, joka vielä lisäsi mukavasti kysyntää ja näkyvyyttä.

Kuulen koputuksen ja pyydän käymään peremmälle. Siellä on Koskesta hallinnoivasta yhdistyksestä tapahtumakoordinaattori, joka pyytää minua tulemaan pitämään lyhyt hissi-puhe-tyyppinen esitys vierailijaryhmälle. Suostun mielelläni ja sanon tulevani 10 minuutin päästä. Ajattelen esityksen jälkeen jatkavani matkaa tuotantotiloihin TKI-tilojen viereen. Siivoan työpöydän puhtaaksi ja otan mukaan läppäriin, jossa on kaikki asiakaslistat.

Koskeksessa vierailijaryhmille järjestetään erilaisia tuotteistettuja luentosarjoja, ja niiden lisäksi usein he ovat kiinnostuneita keskuksessa toimivista yrityksistä. Silloin saattaa tulla tällaisia pikaisia pyyntöjä esityksille. Näen toimistokoppini ovelta, että ryhmä on jo valmiina aulatilassa, jota käytetään tällaisten vierailuiden pääpaikkana.

## **PÄIVÄNI OSAAMISKESKUS KOSKEKSESSA**

Vaihdetaan välillä näkökulmaa ja mennään vierailijaryhmän kanssa vierailulle Hyötyvirta-yritysalueella sijaitsevaan kiertotalouden osaamiskeskukseen, jossa tutustumme keskuksen toimintaan.

Työskentelemme Safe Circular Building (SCB) Oy:ssä, joka on rakennusalan kiertotalouteen nojautuva suunnitteluyritys, joka on toiminut pian kymmenen vuotta pääkaupunkiseudulla. Tänä aikana SCB on kasvanut merkittävästi, ja nyt on suunnitteilla sijoittuminen kiertotalouden osaamiskeskus Koskeeseen. Olemme esimiestiimin kanssa tulleet tutustumaan Koskeeseen tänä kauniina talvipäivänä.

Alueen tapahtumakoordinaattori ottaa meidän SCB:n esimiestiimimme vastaan ja tiedustele, löysimmekö hyvin perille. Ryhmämme on yhtä mieltä, että matka Kouvolaan kului joutuisasti päästyämme pääkaupunkiseudun ruuhkista. Osaamiskeskuksen tyylikäs rakennus erottui pitkälle, ja opasteitakin oli riittävästi. Olemme jo aikaisemmin kuulleet Koskeksesta paljon kehujia, ja yksi seurueemme jäsenistä on osallistunut siellä pidettyyn kehittämishankkeen seminaaritilaisuuteen. Neljän hengen seurueestamme muut ovat Koskeksessa ensi kertaa. Etäyhteydet ovat tosin mahdollistaneet hyvän yhteistyön jo ennen vierailua.

Ihastelemme rakennuksen aulassa näkyviä innovatiivisia kiertotalousmateriaalikoelija, kun Kieroxmän Oy:n yrittäjä tulee esittelemään meille yrityksensä toimintaa. Hän tervehtii meitä iloisesti ja jutustelee ensin muutaman vapaan sanan. Hän tiedustelee, mistä tulemme, ja kerromme lyhyesti, miksi olemme Koskeksessa tutustumassa: Harkitsemme sijoittumista Hyötyvirta-alueelle, koska useiden vuokrankorotusten jäljiltä tilamme pääkaupunkiseudulla ovat käyneet yrityksellemme turhan kalliiksi eivätkä salli toiminnan kasvua ja kehittämistä. Tilantarpeemme vaihtelevat suuresti työkanan vaihteluiden sekä etätöiden vuoksi. Yhteisölliset toimitilat houkuttelevat meitä, koska SCB:n liiketoiminta erilaisten rakentamisen kiertotalousmateriaalien käytettävyyden, turvallisuuden ja ominaisuuksien varmistamisessa hyötyy merkittävästi materiaalivirtojen ja mahdollisten uusien asiakasyritysten läheisyydestä. Kieroxmän Oy:n yrittäjä on kanssamme samaa mieltä, että kustannustehokkuus on päivän sana, joten enää ei haluta omistaa isoja tiloja ja etätöitäkin tehdään siinä määrin, että tilan tarve on yleisesti pienentynyt.

Kieroxmän Oy:n esittely sujuu luontevasti, ja päättelemme, että vastaavia esittelyjä on tulut pidettyä aiemminkin. Yrittäjä vastailee kysymyksiimme ja kiiruhtaa sitten jatkamaan töitään. Hän kertoo, että tämä viikko on ollut tilausten puolesta edellistä hiljaisempi, mikä mahdollistaa kehitysprojektin edistämisen. Siltä hän odottaa laajennusta palveluvalikoimaan, mikä lisääsi tasaisuutta työkantaa.

Joukko opiskelijoita ohittaa meidät suunnaten määrätietoisesti käytävää eteenpäin. Oppaamme kertoo, että Koskeksessa on oppimisympäristöjä, jotka mahdollistavat ammattiopiston ja ammattikorkeakoulun opiskelijoiden käytännön opintojen ja yritysyhteistyössä tehtävien harjoitustöiden tekemisen. Opiskelijoita näkee keskuksessa paljon, ja meille kerrotaan, että heitä on valmistuttuaan työllistynyt alueen yrityksiin ja ryhtynyt kiertotalousyrittäjiksi. Olemme itsekin pyrkineet rekrytoimaan henkilöstöä harjoittelujen kautta, mutta opiskelijoiden sitoutumista yritykseen on ollut vaikea varmistaa ja yrityksemme nykyiset tilat asettavat haasteita työpisteen löytymiselle. Meille vakuutetaan, ettei tämä olisi Koskeksessa ongelma: opiskelijoille löytyy työskentelytiloja myös alueella olevan TKI-ympäristön puolelta ja yrityksille tarjottavat toimistotilat ovat muunneltavia ja kokoustilaa varattavissa joustavasti. Yhteisöllistä työtalaa saa aina käyttöön tilantarpeiden muutoksia tasaamaan. Kaikki on myös suunniteltu siten, että etätyöskentelyä voidaan tukea mahdollisimman hyvin.

Alueen TKI-ympäristö sijoittuu pääosin omiin erillisiin tiloihinsa. Siinä missä osaamiskeskus on tyylikäs tila, jossa äänimaailma vaihtelee hiljaisesta vilkkaaseen puheensorinaan, on TKI-ympäristö eri maata. Tiloissa käsitellään monenlaista kiertotalouden jaetta. Katsoimme hetken, miten voittoa tavoittelemattoman yleishyödyllisen yhdistyksen henkilöt lajittelevat tekstiilijakeita, joita tarvitaan jo pitkälle edenneeseen kuitujen erottelun testaukseen. Taustalla jyskyttää kierrätysbetonin murskain, jota voidaan käyttää muillekin koville kiertotalousmateriaaleille. Edempänä ryhmä opiskelijoita touhottaa jonkin rautakankien suoristukseen liittyvän tehtävän äärellä.

Oppaamme kertoo, että TKI-ympäristön laitteistoja täydentävät Xamkin bio- ja kiertotalouden tutkimuskeskus BioSammosta löytyvät tilat ja laitteet. TKI-ympäristössä mahdollistuvat nopeat kokeilut, ja sitä hyödynnetään sekä projektiluontoiseen että pitkäjänteiseen kehittämistyöhön, tyypillisesti yhteistyössä yritysten ja eri alue-, koulutus- ja tutkimusorganisaatioiden kesken. Koskeksen myötä alueen TKI-panostukset ovat kasvaneet ja painottuneet yhä enemmän kiertotalouteen.

Koskes toimii myös monipuolisena oppimisympäristönä, joka hyödyntää sekä TKI-ympäristön koe- ja pilotointitiloja että työskentely- ja kokoustiloja. Ammattiopiston opiskelijat voivat harjoitella esimerkiksi kiinteistönhoitoa, ja Koskeksessa on panostettu opintojaksoihin, jotka rakentavat opintopolkuja toiselta asteelta ammattikorkeakouluun. Neljänsuositain hanketoimijat ja opiskelijat esittelevät hankkeiden sekä harjoitus- ja opinnäytetöiden tuloksia Koskeksen aulassa. Meille kerrotaan, että tilaisuudet ovat suosittuja sekä opiskelijoiden että yritysten keskuudessa ja ylläpitävät toimijaverkoston välistä tiedonjakoa.

TKI- ja oppimisympäristöjen kierroksen jälkeen Koskeksen tapahtumakoordinaattori esittelee meille yhteisöllisiä konttoritiloja sekä yhteiskäytössä olevia työkaluja ja ohjelmistoja. Ihastelemme näkymää lumiseen metsään. Konttorissamme Helsingissä ikkunoista näkyy viereisen talon seinä sekä parkkipaikkaa. Tapahtumakoordinaattori naurahtaa ja sanoo, että tilojen viihtyisyyttä keuhataan jatkuvasti. Kesällä töitä voi tehdä myös etuterassilla aurin-gossa. Sisätiloissa on huomioitu sisäilman laatu ja ilmanvaihdon säädeltävyys kulloisenkin väkimäärän mukaan sekä tilojen muunneltavuus. Tilat tukevat toisaalta yhteisöllisyyttä, mutta tarjoavat mahdollisuuden myös työskentelyyn omassa rauhassa. Koskes toimii porttina Hyötyvirta-alueelle, ja alueen toimijat ovat omaksuneet sen tilat ja palvelut osaksi toimintaansa, kukin tarpeidensa mukaan. Kokoustiloja ja auditoriota vuokrataan myös ulkopuolisille. Lähes päivittäin on jokin tapahtuma tai kokoontuminen.

Syömme myöhäisen lounaan Koskeksen valoisassa ravintolassa. Kiinnitän huomiota siihen, että lounasvaihtoehtojen hiilijalanjälki on merkitty lounaslistaan ja ruokien kuvaukset vilisevät paikallisten tuottajien nimiä. Oppaamme kertoo, että ravintolan filosofia nojautuu lähiruuan ja ympäristönäkökulmien esilletuontiin. Tapahtumakoordinaattori kertoo sijoittumisen tilavaihtoehtoja ja hinnoittelua sekä tiedustelee tarkennuksia toiveistamme ja siitä, mitä pidimme kierroksesta. Otamme ravintolasta paikallisen paahdimon reilunkaupan luomukahvit ja pussillisen lakua mukaan kotimatkaa varten.

Huomaamme aulan infotaulusta Kieroxmän Oy:n yrittäjän tuoreen somepäivityksen. Tapahtumakoordinaattori kertoo, että alueen toimijat tekevät yhteistyötä myös nettinäkyvyyden suhteen, jolloin jokainen saa mielenkiintoisia sisältöjä itse räätälimällään tulokulmalla laajemmin kuin pystyisi yksin postauksia tuottamaan. Myös näkyvyys on näin laajempi ja tietoturva kunnossa. Samalla tuetaan myös alueen kehitystä ja yhteisöllisyyttä. Hyvästelemme tapahtumakoordinaattorin aulassa, haemme takit naulakosta ja suuntaamme ulos.

Jäämme hörppimään kahvia raikkaaseen talvi-ilmaan ja katselemme pihan ympäristötaide-teoksia. Alueella on vilkasta, ja ohi ajava kuski morjenstaa meille kahvi kädessä. Automme odottaa kätevässä vierasparkissa. Alueelle sijoituessamme meillä olisi mahdollisuus hyödyntää myös yhteiskäytössä olevaa sähköautoa tai sähköpolkupyöriä, joilla hurauttaa vaikka Myllykosken rautatieasemalle tai Bio- ja kiertotalouden tutkimuskeskus BioSampoon. Keskustelemme Hyötyvirta-alueen ja Koskes-keskuksen mahdollisuuksista innokkaasti koko kotimatkan. Olemme kaikki vakuuttuneita, että sijoittuminen sinne nostaisi yritystoimintamme uudelle tasolle.

## **MUKAAN HYÖTYVIRTA-ALUEEN KEHITYKSEEN**

Haluatko mukaan kehittämään kansallisesti ja kansainvälisesti tunnustettua kiertotalouden osaamiskeskusta Kymenlaaksoon? Mitä palveluita tarvitaan, jotta saadaan tuotua yhteen alueen paras osaaminen ja luotua yhteisesti kilpailuetua ja houkuttelevuutta? KOSKES-konsepti yhdistää yritykset, liiketoimintaa kehittävät organisaatiot ja oppilaitokset kehittämään yhteistä tulevaisuutta. Se luo alustan, jolla yritysten liiketoimintaa tuetaan ja kehitetään. Kiertotalouden osaamiskeskuksen strategia- ja kehitystyö on käynnissä, ja kutsumme mukaan kaikki kiertotalouden parissa toimivat tai siihen suuntautuvat henkilöt ja organisaatiot!

## LÄHTEET

Abdulkareem, M., Havukainen, J. & Horttanainen, M. 2019. How environmentally sustainable are fibre reinforced alkali-activated concretes? *Journal of Cleaner Production*, Vol 236. Iss. 1. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.07.076> [viitattu: 7.9.2020]

Auvinen, T., Aaltio, I. & Blomqvist, K. 2013. Constructing leadership by storytelling – the meaning of trust and narratives. *Leadership & Organization Development Journal*, Vol. 34 No. 6, pp. 496-514. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://doi.org/10.1108/LODJ-10-2011-0102> [viitattu: 25.8.2020]

Barker, R. T. & Gower, K. 2010. Strategic Application of Storytelling in Organizations: Toward Effective Communication in a Diverse World. *The Journal of Business Communication*, Vol. 47, Iss. 3, pp. 295-312. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://doi.org/10.1177/0021943610369782> [viitattu: 26.8.2020]

Dufva, M. & Wäyrynen, A. 2020. Teknologia tuo koronanjälkeiseen aikaan paljon mahdollisuuksia – ja muutamia uhkia. *Sitra*. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.sitra.fi/artikkelit/teknologia-tuo-koronanjälkeiseen-aikaan-paljon-mahdollisuuksia-ja-muutamia-uhkia/> [viitattu: 4.9.2020]

Hyötyvirta ry. 2020. Hyötyvirta: Kymenlaakson ympäristöliiketoiminta-alue Kouvossa. WWW-dokumentti. Saatavissa: <http://www.hyotyvirta.fi/> [viitattu: 2.9.2020]

Kinno (Kouvola Innovation Oy). 2020a. KOSKES. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://kinno.fi/koskes/> [viitattu: 7.9.2020]

Kinno (Kouvola Innovation Oy). 2020b. Hyötyvirta-yritysalue. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://kinno.fi/hyotyvirta-yritysalue/> [viitattu: 2.9.2020]

KSAO (Kouvolan seudun ammattiopisto). 2020. KOSKES – Kiertotalouden osaamiskeskus. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.ksao.fi/hankkeet-kaynnissa/koskes-kiertotalouden-osaamiskeskus/> [viitattu: 7.9.2020]

Oulun yliopisto. 2016. Geopolymeerit muuttavat maailmaa. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.oulu.fi/yliopisto/node/41024> [viitattu: 7.9.2020]

Timperley, J. 2018. If the cement industry were a country, it would be the third largest emitter in the world. *CarbonBrief*. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.carbonbrief.org/qa-why-cement-emissions-matter-for-climate-change> [viitattu: 7.9.2020]

Tulevaisuuden tutkimuskeskus. 2014. Kooste tulevaisuuden työpajan tuloksista. Turun kauppakorkeakoulu, Turun yliopisto. [viitattu: 3.9.2020]

Xamk (Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu). 2020. KOSKES – Kiertotalouden osaamiskeskus. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.xamk.fi/tutkimus-ja-kehitys/koskes/> [viitattu: 7.9.2020]

# RAKENTAMISEN KIERTOTALOUDEN HUOMIOIMINEN XAMKIN UUDEN KAMPUKSEN HANKE-SUUNNITTELUSSA YHDESSÄ OPISELIJOIDEN KANSSA

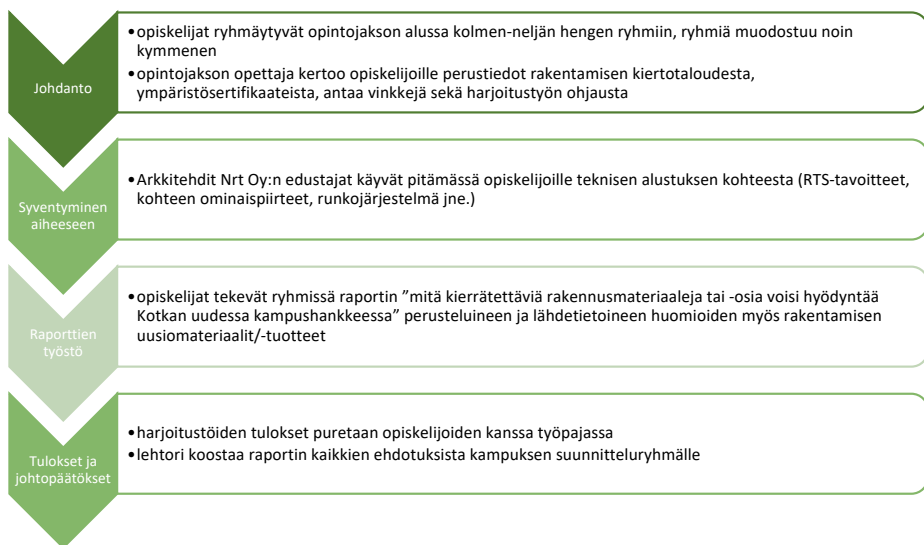
Katja Ahola

Reuse-hankkeessa edistetään rakentamisen kiertotaloutta etsimällä hukka- ja purkumateriaaleille uusia käyttökohteita. Kymenlaakson liiton rahoittama hanke mahdollistaa kiertotalousmalleilla rakentamisen uudelleenkäyttöön uutta osaamista ja kilpailukykyä. Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoululle suunnitellaan kampusta Kotkaan. Tilaajan tavoitteena on rakentaa RTS-ympäristöluokitukseltaan viiden tähden julkinen rakennus, joka haastaa suunnittelijat ottamaan entistäkin paremmin huomioon rakentamisen ympäristövaikutukset. Tätä kautta syntyi idea pyytää ideoita myös ReUse-hankkeen työntekijöiltä, jolloin yhteistyö laajenikin päätyen rakennusinsinöörien pakollisen opintojakson yhden harjoitustyön aiheeksi. Opiskelijat saivat ideariihissään valtavasti ideoita, joita purettiin yhdessä työpajassa ja koostettiin raportin muotoon arkkitehtitoimistolle. Johtopäätöksenä voidaan todeta, että rakentamisen kiertotalouden huomioiminen on edelleen haastavaa, muttei mahdotonta. Tällä yhteistyöllä saimme annettua monia uusia ideoita niin tilaajalle kuin suunnittelijoille, samalla opiskelijat oppivat paljon uutta vastuullisesta rakentamisesta kuin vaikutusmahdollisuuksista ympäristöjalanjälkeemme.

## JOHDANTO

Xamkille suunnitellaan RTS-ympäristöluokitukseltaan täyden viiden tähden kampusta Kotkaan. Toteutuessaan se olisi Suomessa ensimmäinen tämän tähtimäärän saavuttanut rakennus. Tavoite onnistuu vain suunnittelemalla ekologisesti kestäviä ratkaisuja. Idea yhteistyöhön syntyi kampusta suunnittelevan arkkitehtitoimiston edustajan ottaessa yhteyttä ReUse-hankkeen henkilöstöön ja kysymällä, miten rakentamisen kiertotalous voitaisiin ottaa kampuksen suunnittelussa huomioon jo hankesuunnitteluvaiheessa. Keskustelujen pohjalta ehdotettiin, että ideoita saataisiin enemmän pohdittavaksi, jos myös rakennusinsinööriopiskelijat otettaisiin mukaan ideointiin. Tämän pohjalta suunniteltiin opiskelijoiden tehtäväksi harjoitustyö liittyen rakentamisen kiertotalouteen ja purkumateriaalien ja rakennusosien uudelleen- ja uusiokäyttöön Xamkin tulevassa kampuksessa ympäristötekniikan opintojaksolla. Opintojaksoa opettava lehtori voisi ReUse-hanketyöhönsä liittyen kirjoittaa lopuksi koosteraportin, joka lähetettäisiin kampuksen hankeryhmälle. Suunnitelma on alla kuvattu prosessikaaviona (kuva 1).





**KUVA 1.** Yhteistyön suunnitelma harjoitustyön muodossa.

## HARJOITUSTYÖN TAUSTAA JA SYVENTYMINEN AIHEESEEN

Opiskelijat saivat perehdytyksen muun muassa rakentamisen kiertotaloudesta ja ympäristösertifikaateista. Tuntitehtävän avulla tutustuttiin erilaisiin termistöihin, mitä eroa on uudelleen- ja uusiokäytöllä ja mitä puretuista rakennusmateriaaleista nykypäivänä tehdään. Opiskelijat saivat päättää ryhmässään, haluavatko työssään nostaa vain muutaman tärkeän asian vai useita pieniä asioita. Raportti tulisi olemaan ryhmän esitys, mitä he lähtisivät tässä kohteessa toteuttamaan, jos he (neljän hengen ryhmä) saisivat päättää, muistaen arjen realiteetit ja toisaalta antaen mielikuvituksen laukata ideoita miettiessä. Lehtorin alustuksessa ehdotettiin muun muassa, voisiko esimerkiksi julkisivun materiaalivalinnoissa tuoda Kotkan saaren historiaa esiin ja kaikissa materiaalivalinnoissa alueen metsäteollisuuden historiaa ja ideoita materiaalivaihtoehtoja myös metsäteollisuuden sivuvirroista tai jätteistä.

Ennen harjoitustyötä syvennyttiin vielä rakentamisen kiertotalouteen rakennusmateriaaleitain samoin ryhmäjoin. Opiskelijat tutkivat annetun purkumateriaalin hyödynnettävyyttä ja esittivät toisilleen, mitä löysivät. Aiheina olivat: 1) paikallavalubetoni, 2) betonielementit, 3) puu (mm. kantavat palkistot, muottitavara), 4) eristeet, 5) tiili- ja lecatuotteet, 6) muovi, 7) ikkunat, ovet ja lasi, 8) kalusteet, varusteet ja laitteet, 9) asfaltti, kermi-tuotteet sekä 10) LVIS-tuotteet (mm. patterit, wc-kalusteet, iv-laitteistot, hanat). Pohjustuskerralla ei huomioitu uusiorakennusmateriaaleja, jotka on tehty jostain muusta jätteestä, kuten tekstiilijätteestä valmistettavat akustolevyt, joita voisi ehdottaa varsinaisessa harjoitustyössä.

Arkkitehtitoimisto NRT:n edustajien alustuksessa hankkeesta kerrottiin monipuolisesti, ja samalla opiskelijat saivat tutustua hankkeen pienoismalliin. Opiskelijoille esiteltiin luonnossuunnitelmat. Kohde pitäisi olla valmis syksyllä 2023. Suunnittelussa halutaan korostaa sataman läheisyyttä. Tiettyjä valintoja oli jo tehty, kuten betonirunko, perusteluna, että pilari-laatta-runko on muuntojoustava tulevien vuosikymmenten opiskeluympäristön muutoksiin. Ikkunoita ja valoisuutta tulee paljon, yhteisöllistä tilaa, avoimia sisäterassitiloja kohtaamisille, ylimpänä kolme kattoterassia puutarhoineen. Korostettiin, että edelleen oli hyvät mahdollisuudet vaikuttaa muun muassa väliseinien rakenteisiin, portaisiin, lattiapintoihin, alakattoihin, ulkoseinien verhouksiin, pihan päällysteisiin, katteeseen, verhouksiin yleensäkin. Akustosuunnittelu nousee kohteessa tärkeään rooliin, vaimennusta tarvitaan paljon. Suunnitteluvaiheessa tulisi myös pohtia mahdollisimman ekologinen lämmitysratkaisu ja pitää sähkön- ja vedenkulutus minimissään. Olennainen tekijä rakennuksen koko elinkaaren ympäristöaristteessa on rakennuksen käyttöikä. Näin ollen rakennuksesta tulisi tehdä mahdollisimman pitkäikäinen. Ekologisesti tehdyssä rakennuksessa tulisi käyttää mahdollisimman vähän ympäristöä kuluttavia rakennusmateriaaleja. Materiaalivalinnoissa olisi huomioitava koko elinkaaren ympäristöariste sisältäen valmistuksen, logistiikan, asentamisen, purkamisen ja purkujätteen käsittelyn.

Haastetta lisää pitkäikäinen rakentamisvaihe, 2–3 vuotta, joten rakenneosia tulisi pystyä varastoimaan, jos ne saadaan purettavista rakennuksista. Tarvittavien materiaalien määrä on suurehko, ja tulee miettiä, mistä kyseistä materiaalia saadaan tarvittava määrä ja miten ne saadaan kustannustehokkaasti kuljetettua rakennuspaikalle. Rakennustuotteilta vaaditaan myös CE-merkintä tai minimissään paikallisen rakennusvalvontaviranomaisen kelpoisuus hyväksyntä. Vaikka rakentamisen kiertotaloudesta puhutaan paljon, laajemmat markkinat eivät ole vielä syntyneet. Purkumateriaalin hinta voi muodostua toistaiseksi huomattavasti kalliimmaksi kuin uuden tuotteen, koska purkumateriaaleja on ehjänä vähemmän saatavilla, sekä kuljetus-, käsittely- ja varastointikustannuksia syntyy verrattain paljon. Lisäksi purkumateriaalien hankinta vaatii enemmän vaivannäköä ja taustatyötä. Kaikista rakennusosista ei vielä löydy mahdollista käyttöönotettavaa ekologisesti kestävämpää vaihtoehtoa, vaikka siihen mahdollisuus olisikin tuotettavissa. Tämän kokoisen hankkeen resurssit eivät välttämättä riitä myöskään siihen, että kaikki tuotetaan itse tai hankitaan eri tuottajilta yksittäin.

Alustuksessa kerrottiin RTS-ympäristöluokituksista. Luokitus on tarkoitettu rakennushankkeiden tilaajille, jotka haluavat rakentaa ympäristövastuullisesti. Järjestelmä on kehitetty Suomeen huomioiden suomalaiset olosuhteet, lainsäädäntö ja kiinteistökönnän monipuolisuus. Luokitus pohjautuu eurooppalaisiin standardeihin (CEN TC 350) ja sitoo yhteen alan yhteiset hyvät kotimaiset käytännöt, kuten sisäilmasto- ja M1-luokituksen, viherkerroinmenetelmän, Kuivaketju10- ja rakennusten elinkaarimittarit. (Rakennustietosäätiö) Meillä jokaisella on mahdollisuus vaikuttaa ympäristöjalanjälkeemme. Ympäristöluokituksen avulla rakennushanketta ohjataan kestäväen kehityksen kriteerien pohjalta, saavutetaan parempi sisäilman laatu sekä akustiikka- ja valaistusolosuhteet, hallitaan kos-

teusteknisiä riskejä sekä pyritään kokonaisvaltaisesti energiatehokkaisiin rakennuksiin. Luokituksen avulla varmistetaan, että suunnitteluvaiheessa sovitut asiat toteutuvat työmaalla, toteutuksessa ja käytön aikana. Kriteeristöön sisältyvät hyvä energiatehokkuus, sisäilma ja kosteustekninen toimivuus sekä uudistuksen myötä materiaalitehokkuus, viherympäristön laatu ja vähäpäästöiset kalusteet. (Rakennettu ympäristö 2018) Arkkitehtien pohjustuksessa tuli esiin myös RTS-ympäristösertifointiin liittyviä erityiskysymyksiä hankkeessa, joita on kuvattu alla.

**Materiaalitehokkuus vs. tila-akustiikka.** Rakennusosista saa luokituksessa pisteitä uudelleenkäytettyjen, uusiutuvien ja kierrätysmateriaalien käytöstä. Esimerkiksi väliseiniin puurunko+ekovilla on hyvä valinta, koska puu on uusiutuvaa ja ekovilla kierrätysmateriaali. Akustiikan kannalta kuitenkin puurunkoinen kipsilevyseinä vaatii kaksi kipsilevyä lisää metallirankaan verrattuna sekä zik zak -puurunko vie enemmän materiaalia.

**Luonnonvalon määrä vs. energiatehokkuus.** Energiatehokkuuden kannalta suuret ikkunapinnat ovat umpiulkoseinään verrattuna u-arvoltaan huonompia tai ainakin kalliimpia. Toisaalta halutaan maksimoida luonnonvalon määrä, erityisesti työskentelytiloissa.

**Hulevesien imeytys vs. huollettavuus.** Pehmeät, vettä läpäisevät pinnat toimivat paremmin hulevesien imeyttämiseen ja viivyttämiseen tontilla. Kovat, kestävät pinnat ovat helpommin huollettavia ja kuluvat vähemmän ajoneuvoliikenteestä. (Arkkitehtitoimisto NRT)

## ERITYISET RISKIT KÄYTETTÄESSÄ PURKUMATERIAALEJA

Eräs opiskelijaryhmä nosti esiin tärkeän huomion: purkumateriaalien puhtauden määrittäminen, kemikaalien jäljitettävyyden ja jäljitettävyyden yleisesti ovat avainsanoja valittaessa uusiomateriaaleista tehtyjä tuotteita. Materiaalien testaus ja tutkiminen, niissä käytettyjen ainesosien ja kemikaaliyhdisteiden selvittämiseksi vaativat monimutkaisia analyysejä. Kaikkia mahdollisesti haitallisia ainesosia ei pystytä kohtuukinoin määrittämään, jolloin riski haitallisten aineiden päätyemisestä lopputuotteeseen on olemassa. Ylitarkastaja E. Häkkinen Suomen ympäristökeskuksesta pitää vaarallisten aineiden tunnistamista jätevirroista haastavana. Tunnistaminen vaatii kattavia laboratorioanalyysejä, eikä pitoisuuksien määrittäminen ole yksinkertaista. (Kemia-lehti 2016).

K. Pulkkinen avaa riskiä Kemia-lehden artikkelissa seuraavasti. Materiaalien kemikaaliluokituksia tekevä tutkija Christine Däumling kertoi Helsinki Chemicals Forumissa ironisen esimerkin. Saksan ympäristökeskuksen UBA:n päämaja oli juuri valmistunut, ja muuton ollessa käynnissä alettiin ihmetellä outoa hajua talossa, joka oli rakennettu tiukkojen ympäristö- ja terveysnormien mukaan, Däumling muisteli. Rakennuksen sisäilmaa analysoimalla

paljastui runsaasti naftaleenia ja 1,3-dikloori-2-propanolia. Saksalaisen rakennustuotteiden AgBB-luokituksen viitearvot materiaalipäästöille ylittyivät ensimmäisen aineen osalta kolminkertaisesti ja toisen osalta 22-kertaisesti. Molemmat aiheuttavat sekä terveys- että ympäristöhaittoja. Naftaleeni oli peräisin huonolaatuisesta öljyperäisestä raaka-aineesta, josta muovinen lattiamatto oli valmistettu. 1,3-dikloori-2-propanolia taas erittyi ilmaan muovimaton alla olleesta äänieristekankaasta, joka oli tehty vanhoista autonistuimista valmistetusta uusiomateriaalista, ja istuimet sisälsivät kloorattuja palonestoaineita. Tämä suora lainaus Kemia-lehden artikkelista kertoo vakavasti otettavalla esimerkillään, kuinka rakennuskemia on tarkasti huomioitava materiaalivalinnoissa. Vanha ladon seinä taikka puuvene saattaa olla hieno sisustuselementti, mutta saattaa sisältää kemikaaleja ja yhdisteitä, joita ei tulla edes ajatelleeksi. Astetta vakavampaa on, jos uusiomateriaali myydään uutena tuotteena, joka esimerkin tavoin aiheuttaa sisäilmaongelmia. Materiaalivalmistajalla on suuri vastuu uusioraaka-aineiden puhtauden varmistamisessa.

## TEHTÄVÄNANNON HAASTELLISUUS

Lähteestä tai valmistajasta riippumatta on vaikeaa löytää materiaalin koostumusta siinä määrin, että voisi luotettavasti päätellä, minkä verran materiaalista on vanhaa käytettyä materiaalia ja millä tavoin materiaali on kierrätettävissä tai uusiokäytettävissä. Kahden valmistajan keskenään vertaaminen on joissakin tuotteissa tehty vaikeaksi sertifi kaattien kirjon vuoksi. Vain harvoista materiaaleista on valmistajan sivulla saatavilla valmis tuoteseloste, mikä osaltaan tuo oman lisähaasteen tuotteiden valitsemiselle ja vertaamiselle.

Kampuksen käyttöäiksi on määritetty 200 vuotta, ja syntyvyyden edelleen laskiessa Suomessa luokkakoot pienenevät radikaalisti tulevaisuudessa, mikä tulisi huomioida rakentamisessa. Hukkaneliöiden rakentaminen ja ylläpito tulevat kalliiksi. Vaikkakin tehtävänänto oli haasteellinen, töihin ryhdyttiin uteliaan mielenkiinnolla. Seuraavaksi esitellään opiskelijoiden ideoita ryhmiteltynä ensin runkoon ja vaippaan, sitten siirrytään pintojen ja akustiikan kautta ulkotiloihin.

## TULOKSIA LÄPIKÄYTIIN TYÖPAJASSA ENNEN KOOSTERAPORTOINTIA

Purkumateriaaleja käyttämällä rakentamisen ympäristövaikutuksia saadaan pienemmäksi edistäen samalla rakentamisen kiertotaloutta. Rakennuksen runkoon ja vaippaan tuli jonkin verran ehdotuksia. Opiskelijat ehdottivat erilaisia eristevaihtoehtoja, julkisivuverhouksia ja vaikkapa PVC-ikkunoita. Eristeeksi ehdotettiin muun muassa vaahtolasimurskettä ja ekoeristettä.

Eräs ryhmä ideoi vanhojen laivojen teräkset julkisivuun suomukuvioon. Materiaali olisi edullista. Vanhat teollisuusrakennukset ja vanhat käytöstä poistetut laivat voisivat olla varteenotettavia materiaalipankkeja. Levyt irrotettaisiin polttoleikkaamalla esimerkiksi 1,2 x

1,2 m:n palasiksi, hiekkapuhallettaisiin metallipajalla ja kiinnitettäisiin vain yläreunoista ja kiinnitettäisiin alhaalta ylöspäin ylempi aina alareunastaan alemman päälle ”suomukuvioon”, joka viittaisi kalastuksen merkitykseen Kotkassa. Levyjä ei pinnoitettaisi millään kemikaalilla, vaan annettaisiin ruosteen huolehtia pinnoituksesta.

Toinen ryhmä valitsi julkisivuun täysin kierrätettävät UPM:n ProFi Facade -puumuovikomposiitit, joissa yhdistyvät puukuitujen ja muovin hyvät ominaisuudet. ProFi sopii erityisen hyvin säälle alttiina oleviin ulkorakenteisiin, esimerkiksi terasseihin, laitureihin ja julkisivuihin. Puumuovikomposiitti on ympäristöystävällinen tuote. Se valmistetaan tuotannossa hyödyntämättä jäävästä raaka-aineesta ja on täysin kierrätettävä. (UPM ProFi 2016)

Sisäpinnat saivat selkeästi eniten ehdotuksia harjoitustöiden raporteissa. Ne on tässä jaoteltu lattiapintamateriaaleihin ja muihin pintamateriaaleihin sekä akustiikkaratkaisut on erotettu omaksi kappaleeksi. Lattiamateriaaliksi ehdotettiin paljon myös tavanomaisia ratkaisuja, ja tässä on esitelty tavanomaisesta poikkeavat ehdotukset: kierrätyskumista valmistetut kumimatot, ekologinen ja antibakteerinen hartsilattia sekä Gerflor-yrityksen vinyylimatot, joiden muovikuitu on tehty yli 90-prosenttisesti kierrätetyistä muovipulloista (Gerflor). Askelääneneristykseen ehdotettiin Sylomeriä ja Sylodyniä, jotka on valmistettu kierrätysmuovista (Christian Berner). Ideana esitettiin, että kierrätyskartongista voitaisiin puristaa rakennuslevyjä, joiden käyttöominaisuudet vastaisivat korkkilattian ominaisuuksia kartongin ollessa korkin tavoin kimmoisia.

Kierrätysmateriaaleista valmistettuja akustiikkalevyjä valmistaa esimerkiksi suomalainen Yeseco Oy, joiden tuotteilla on negatiivinen hiilijalanjälki. Yesecon akustiikkalevyjen valmistuksessa käytetään kierrätyspulloja ja -paperia, joiden osuus akustiikkalevyjen materiaaleista on 80 prosenttia. Loput valmistuksessa käytettävät materiaalit ovat hamppu- tai pellavakuitua. (Yeseco)

Kohteeseen rakennetaan yli 100 metriä tukimuuria. Tukimuurin rakentaminen purkumateriaaleista olisi melko helppoa. Yksi idea oli tehdä tukimuuri vanhoista tiilijulkisivun palasista. Tapaa on testattu ja toteutettu Tanskassa kokonaisen uuden asuinalueen verran (Lendager), jossa vanhojen julkisten rakennusten ja oluttehtaan tiiliverhous on leikattu noin metri x metri -kokoisiin paloihin. Tässä tekniikka voisi pilotoida tukimuurissa. Purettavaa tiiliseinää riittää Kymenlaaksossa.

Uuden kampuksen piha-alueiden täyttötöissä voidaan käyttää murskattua purkubetonia kantavissa, jakavissa sekä suodatinkerroksissa. Betoroc-murskeen raaka-aine on pääsääntöisesti peräisin vanhojen rakennuksien purkamisesta syntyvästä betonijätteestä, rakennustyömailta sekä betoniteollisuudesta syntyvästä hukkamateriaalista. Betoroc on erinomainen raaka-aine sen lujitusominaisuuksien vuoksi: 13–15 vuotta rakentamisen jälkeen Betoroc saavuttaa jopa 25 prosenttia suuremman kantavuuden kuin tavallisella kalliomurskeella

tehdyt kerrokset. E-moduulin takia voidaan Betoroc-rakennekerrokset pitää ohuempina perinteiseen kalliomurskeeseen verrattuna.

## JOHTOPÄÄTÖKSET

Opiskelijat tekivät hyvin erilaisia ehdotuksia, ja toiset lähtivät selkeästi enemmän asumis-terveys edellä ja valitsivat jo markkinoilla olevia, turvalliseksi todettuja tuotteita. Tällaiset valinnat pohjaavat vastuullisuuteen, ja niissä tiedostetaan erityisesti suunnittelijoihin kohdistuvaa vastuuta kokonaisuuksien hallinnasta. Vaikka yksittäinen pinnoite saattaa testien mukaan olla turvallinen ja päästötön, voi se reagoida yllättäen toisen materiaalin kanssa kosketuksiin päätyessään.

Erityisen wau-reaktion aiheutti idea teräspalojen irrottamisesta laivoista, niiden laittaminen suomuiksi rakennuksen pintaan ja teräksen vapaa ruostuminen, joka on satamamiljööseen erityisen sopiva. Lisäksi merellisen tunnelman tuominen sisätiloihin ja kattoterasseille erilaisin ratkaisuin tuki ehdotusta. Eriste- ja sisäpintojen materiaalivalinnoilla vaikutetaan jossain määrin ympäristöluokitukseen. Niihin koosteraportissa on useita eri vaihtoehtoja. Pihan rakennekerroksien lisäksi pihan pintoja voi toteuttaa betonimurskeella. Lisäksi koosteraporttiin nostettiin muuntojoustavuuden tärkeys ja sitä kautta erilliset tilaelementit, kuten hiljaiset tilat ja puhelinkopit. Näitä voi hyvin kasata erilaisista purku- ja erityisesti hukka- ja ylijäämäpaloista.

Rakentamisen kiertotalouden huomioiminen on haastavaa muttei mahdotonta. Tällä yhteistyöllä saimme annettua monia uusia ideoita niin tilaajalle kuin suunnittelijoille, ja samalla opiskelijat oppivat paljon uutta tietoa vastuullisesta rakentamisesta sekä vaikutusmahdollisuuksista ympäristöalanjalkeemme.

## LÄHTEET

Arkkitehtitoimisto NRT. Hankkeen alustus opiskelijoille 21.1.2020, Xamk Kotkan kampus.

Christian Berner. Kotisivut. Saatavissa: <https://www.christianberner.fi/tuotteet/tarinan-vaimennus-ja—eristaminen/>. [viitattu 28.1.2020]

Gerflor. Kotisivut. Saatavissa: <https://www.gerflor.fi/>. [viitattu 28.1.2020]

Kemia-lehti. Artikkelit 11.10.2016. Saatavissa: [https://www.kemia-lehti.fi/wp-content/uploads/2016/10/Purkumateriaalit\\_kiertotalouden\\_pommi\\_Kemia-lehti\\_11\\_10\\_2016.pdf](https://www.kemia-lehti.fi/wp-content/uploads/2016/10/Purkumateriaalit_kiertotalouden_pommi_Kemia-lehti_11_10_2016.pdf) [viitattu 8.2.2020]

Lendager Group. Kotisivut. Saatavissa: <https://lendager.com/en/architecture/resource-rows>. [viitattu 5.9.2020]

Opiskelijoiden ryhmätyöt, RAKT18SP, opintojaksolta Ympäristö- ja talotekniikka. Koosteraportti erikseen saatavissa: [katja.ahola@xamk.fi](mailto:katja.ahola@xamk.fi)

Rakennustieto. Rakennettu ympäristö -verkkolehti 4/2018. 2018. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://proofer.faktor.fi/epaper/R418/index.html#2/z>. [viitattu 14.8.2020].

Rakennustietosäätiö. RTS-ympäristöluokitus rakennushankkeelle. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://cer.rts.fi/rts-ymparistoluokitus/mika-on-rts-ymparistoluokitus/>. [viitattu 29.6.2020].

UPM Profi. Tekniset tiedot. 2016. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.upmprofi.com/siteassets/documents/technical-documents/upm-profi-facade-technical-fi.pdf> [viitattu 29.6.2020].

Yeseco. Kotisivut. Saatavissa: <https://yeseco.fi/fi/etusivu/>. [viitattu 29.6.2020].

# HUKKALÄMPÖKARTOITUS JA HYÖDYNTÄMISTEKNIIKAT KYMENLAAKSOSSA

Erja Tuliniemi & Tuija Korpela & Maunu Kuosa & Hannu Sarvelainen

Kymenlaakson alueella kartoitetaan hukkalämpövirtoja ja mahdollisuuksia niiden hyödyntämiseen ”Hukkalämmön verkostot ja hyödyntämismahdollisuudet – Hukkaveks”-hankkeessa. Toimenpiteillä edistetään hiilineutraali Kymenlaakso 2040 -tavoitteeseen pääsemistä käytännön toimin.

Tässä julkaisussa esitellään hukkalämmön hyödyntämistä erityyppisissä kohteissa Kymenlaaksoissa. Tarkastelun kohteina kuvataan hukkalämpöpotentiaalia asuinrakennuksissa, jää- ja uimahallissa sekä esimerkkitapauksia hukkalämmön hyödyntämisestä.

Vanhemmissa rakennuksissa on mahdollista saada poistoilmasta talteen lämpöenergiaa. Suurin hukkalämpöpotentiaali löytyy vuosien 1960–1990 välillä rakennettujen asuinkerrostalojen poistoilmasta, mikäli ilmanvaihto on toteutettu koneellisesti ilman lämmöntalteenottoa.

Jäähalleissa on tyypillisesti hyödynnettävissä olevaa lämpöenergiaa yli oman tarpeen koko lämmityskauden ajan. Hankkeessa tutkitaan jäähallin lauhdelämmön käyttöä palvelutalon lämmitykseen.

Uimahallien allastilojen poistoilman lämpöenergiasisältö on suuri, jolloin lämpöenergiaa hyödynnetään lämmöntalteenoton avulla tuloilman lämmitykseen. Uutena asiana selvitetään lisälämmöntalteenottopatterin ja lämpöpumpputeknologian käyttöä allasveden lämmitykseen pilotoinnin avulla.

Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulun toteuttamaa hanketta ovat rahoittamassa päärahoittajana Euroopan aluekehitysrahasto (EAKR) Kymenlaakson liiton koordinoimana sekä Kotkan Energia, Haminan Energia, KSS Lämpö ja Kotkan kaupunki. Xamkin opiskelijoita on otettu mukaan hankkeen toteutukseen.

## JOHDANTO

Suomi tavoittelee hiilineutraaliutta vuoteen 2035 mennessä. Hiilineutraalisuustavoitteisiin pyritään pääsemään monin keinoin, ja tässä hukkalämmön hyödyntäminen on yksi



keinoista. (Ympäristöministeriö 2020a) Teollisuudessa syntyy paljon jätelämpöä, jota ei hyödynnetä vaan johdetaan jäähdytysvesien ja prosessikaasujen mukana ympäristöön (Motiva 2014). Myöskään rakennusten hukkalämpöpotentiaali ei ole merkityksetön. Uusien kauppakeskusten ja hotellien lämmitys- ja jäähdytysenergiaa voidaan tuottaa rakennuksen hukkalämpöä hyödyntämällä huhti-lokakuun aikana. Talvikuukausille tarvitaan ostettua lämpöenergiaa. (Rakennuslehti s.a.)

Hukkaveks-hankkeen tavoitteena on vastata hiilineutraalitavoitteeseen konkreettisella tasolla (kuva 1). Kymenlaakson alueella kartoitetaan hukkalämpöpotentiaalia lämmöntalteenoton ja sen hyötykäytön näkökulmasta. Hankkeessa tarkastellaan tyypillisten hukkalämpöpotentiaalia omaavien kohteiden hukkalämmön määriä ja sen hyödyntämistä kohteessa, kuten asuinrakennukset, hypermarketit, uima- ja jäähallit. Hankkeessa tuodaan esille uusia tekniikoita ja maailmalla kokeiltuja sovellutuksia, jotka Suomessa eivät vielä ole yleisessä käytössä. Hankkeessa kartoitetaan niiden käyttömahdollisuuksia ja etsitään vähähiilisiä ratkaisuja, joita voisi alueellisesti hyödyntää. Hankkeessa huomioidaan investoinnin vaikutukset energiatehokkuuden lisäksi myös taloudellisesta näkökulmasta ja suoritetaan käytännön pilotoineja todellisissa kohteissa muun muassa lämmöntalteenottomenetelmän ja erilämpöisten lämmönlähteiden hyödynnettävyyttä kylmäntuotannossa teemojen ympärillä.



**KUVA 1.** Hukkaveks-hankkeen viestintä- ja markkinointikuva (kuva Getty images).

## HUKKALÄMMÖN VERKOSTOT JA HYÖDYNTÄMISMAHDOLLISUUDET

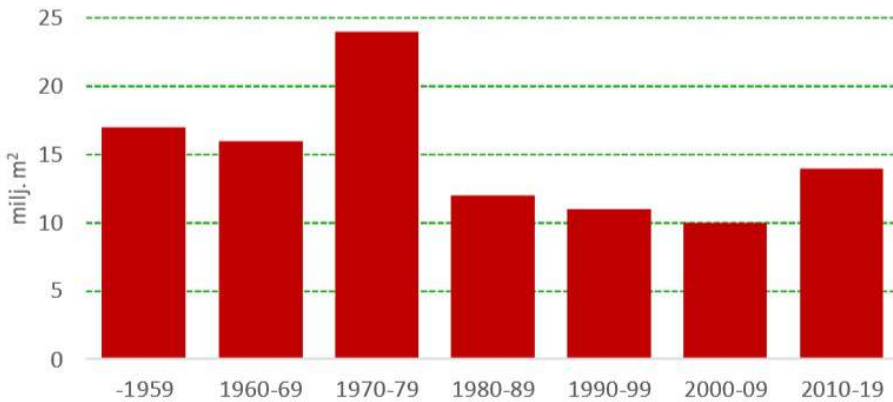
Hukkaveks-hankkeen toimenpiteet aloitettiin vuoden 2020 alussa käymällä keskusteluja alueen yritysten ja kuntien kanssa. Keskusteluiden pohjalta nousi esille alueellisia tarpeita ja toiveita. Tarpeiden pohjalta hukkalämpöenergiapotentiaalia ja sen hyödyntämistä alueella on lähdetty tarkastelemaan todellisiin kohteisiin energiaselvitysten muodossa. Osassa kohteissa on tehty käytännön mittauksia laskennan tueksi.

Pilotoinnit hukkalämmön hyödyntämisen sovellutuksissa on toinen hankkeen merkittävä kokonaisuus. Hukkaveksissä tullaan toteuttamaan kaksi pilottia hukkalämmön ympärille. Ensimmäisessä pilotissa olemassa olevaan ilmanvaihtokoneikkoon lisätään lisälämmöntalteenotto lämpöpumpulla. Toisessa pilotissa tutkitaan lämmön hyödyntämistä kylmäntuotannossa adsorptiolämmönvaihtimella. Tarkoituksena on tutkia adsorptiolämmönvaihtimen käyttöaluetta ja tehokkuutta perustuen lämmönlähteen eri lämpötiloihin ja energiavirtojen seurantaan, kun kylmäntuotanto tapahtuu kuumen veden avulla.

## ASUINRAKENNUSTEN HUKKALÄMPÖ HYÖDYKSI

Rakennukset tuottavat hukkalämpöä, jota voidaan hyödyntää kiinteistön oman tai lähi-alueen lämmitysenergiassa. Hukkaveks-hankkeessa on lähdetty tarkastelemaan tarkemmin kerrostalojen sekä jää- ja uimahallin hukkalämpöenergiämääriä ja niiden käytettävyyttä.

Suomen pitkän aikavälin korjausrakentamisen strategia julkaistiin maaliskuussa 2020. Strategian tavoitteena on erittäin energiatehokas ja lähes hiilivapaa rakennuskanta vuoteen 2050 mennessä. (Ympäristöministeriö 2020b) Suomessa kanta on noin 62 000 asuinkerrostaloa, joka pääosin on melko ikääntynyttä. Noin 60 prosenttia kerrostaloista on rakennettu ennen 1980-lukua (kuva 2). Pylväskuvaaja osoittaa vuosikymmenittäin asuinkerrostalojen yhteenlasketun kerrosalan. Suurin yhteenlaskettu kerrosala on vuosina 1970–1979, noin 24 milj. m<sup>2</sup>. 1980-luvun jälkeen jokaisena vuosikymmenenä yhteenlaskettu kerrosala on jäänyt alle 15 milj. m<sup>2</sup>:öön. Suurin säästöpotentiaali liittyy 1960–1980-luvuilla rakennettuihin, tyypillisesti runsaasti energiaa kuluttaviin asuinkerrostaloihin.

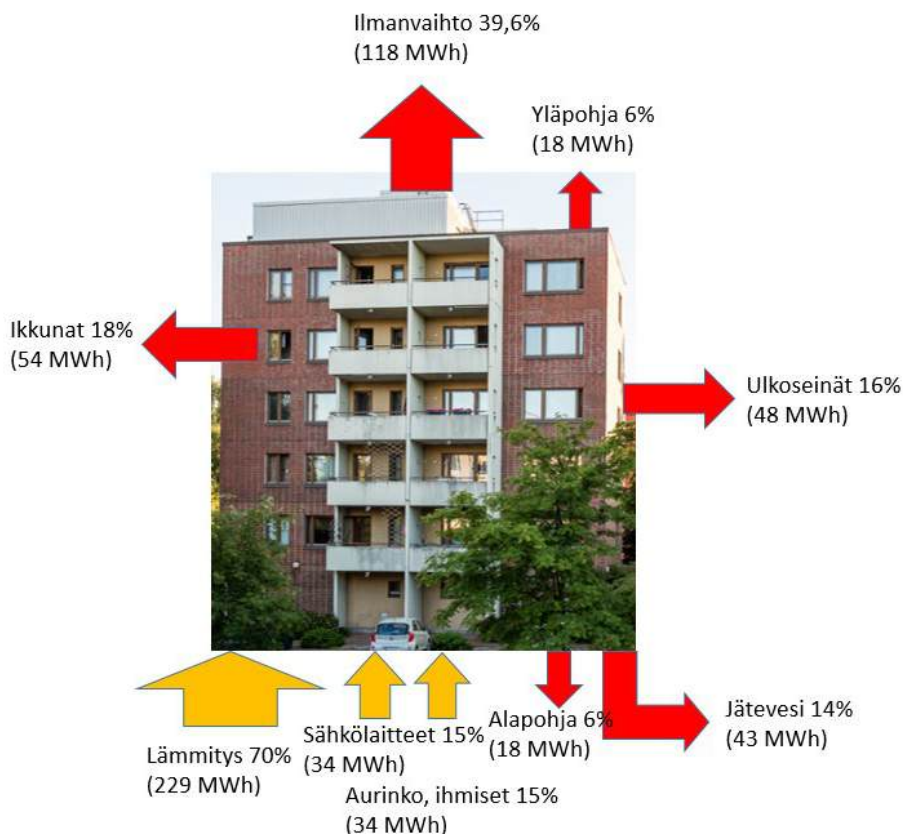


**KUVA 2.** Eri vuosikymmeninä valmistuneiden asuinkerrostalojen yhteenlaskettu kerrosala 104 milj. m<sup>2</sup> vuoden 2019 lopussa (kuva Ympäristöministeriö 2020b).

Lämmönlähteiksi rakennuksissa luetaan poistoilman lämmöntalteenotto, harmaa vesi (kotitalouden pesuvedet) ja kiinteistökohtaisen jäähdytyksen lauhdelämpö (lämpö jäähdytyskoneen lauhduttimesta), jotka kaikki ovat mahdollisuuksien mukaan parhaiten hyödynnettävissä itse rakennuksessa. Sähkön, lämmityksen, lämpimän käyttöveden ja jäähdytyksen kulutusprofiilit ja ominaiskulutukset eroavat toisistaan huomattavasti rakennustyypeittäin ja rakennusvuosittain. (VTT 2020)

Kymenlaakson asuinkerrostalojen hukkalämpöpotentiaalia lähdettiin kartoittamaan valitsemalla tarkasteluun Kotkan Asunnot Oy:n kiinteistökannasta eri ikäluokan kerrostaloja, 1950-luvun taloista 2010-luvun kerrostaloihin asti.

Kohteiden kaukolämmön ja lämpimän käyttöveden kulutukset sekä ilmanvaihtokoneiden ilmavirrat, käyntiajat ja poistoilman lämpötilat selvitettiin, ja niiden perusteella laskettiin ilmanvaihdon ja jäteveden kautta vapautuva hukkalämpöenergia. Kuvassa 3 on esitetty eräs 1980-luvulla rakennettu kerrostalo ja sen lämpöenergiatase vuoden 2019 arvoilla laskettuna. Lämmitykseen on tarvittu ostoenergiaa 229 MWh, joka on noin 70 prosenttia kokonaisenergian tarpeesta. Ns. ilmaisenergiana saadaan sähkölaitteiden kautta 15 prosenttia (34 MWh) sekä auringon ja ihmisten vaikutuksesta myös noin 15 prosenttia. Ilmanvaihdon kautta lämpöhäviöt ovat 39,6 prosenttia (118 MWh), jäteveden häviöt 14 prosenttia (43 MWh), ikkunoiden häviöt 18 prosenttia (54 MWh), ulkoseinien häviöt 16 prosenttia (48 MWh) ja ylä- ja alapohjan häviöt molemmista 6 prosenttia (18 MWh). Johtumishäviöt seinien, ikkunoiden sekä ylä- ja alapohjan kautta perustuvat Motivan arvioon johtumislämpöhäviöistä.



**KUVA 3.** Erään 1980-luvun asuinkerrostalon lämpöenergiatase (kuva Tuija Korpela).

Suurin hukkalämpöpotentiaali piilee vuosien 1960–1990 välillä rakennettujen asuinkerrostalojen koneellisissa poistoilmassa, jos koneessa ei ole lämmöntalteenottoa (vrt. 39,6 %, kuva 3). Potentiaalisia kohteita löytyy myös tämän rajauksen ulkopuolelta, erityisesti väliltä 1990–2002. Vuoden 2002 jälkeen poistoilman lämmöntalteenotto tuli rakennusmääräyksissä velvoitteeksi. (VTT 2015)

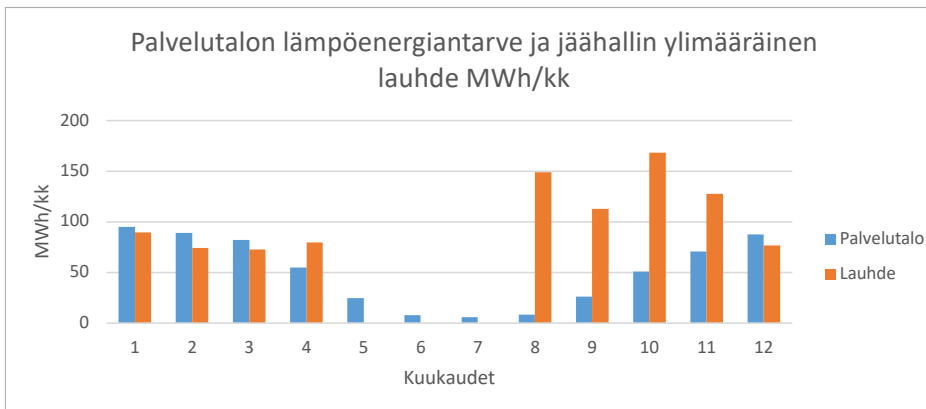
## JÄÄHALLIN LAUHDELÄMPÖÄ PALVELUTALON LÄMMITYKSEEN

Jäähalleissa on tyypillisesti hyödynnettävissä olevaa lämpöenergiaa yli oman tarpeen koko lämmityskauden ajan. Kesä- ja syksyaikaan lauhteen energiamäärä on suurimmillaan. Kotkassa sijaitsevan Karhulan jäähallin hyödynnettävissä olevia energiavirtoja lähdettiin selvittämään viereiselle tontille suunniteltua palvelukeskusta varten. Kesän 2020 aikana suoritettiin teoreettinen laskenta lauhteen energian hyödyntämisestä. Karhulan jäähallissa jäätä on elokuun puolesta välistä huhtikuun puoleen väliin. Tarkastelua tullaan täyden-

tämään jääkauden 2020–2021 aikana suoritettavin mittauksin. Mittaukset toteutetaan Hukkaveks-hankkeessa ja osana energiatekniikan koulutusohjelman opintojaksoja.

Rakennettavan palvelukeskuksen lämmöntarvetta on arvioitu suunnitellun tilavuuden mukaan laskemalla vuosittainen lämmön- ja vedenkulutus palvelutalojen mediaaniarvojen perusteella. Lämmitysenergian jakautuminen eri kuukausille on arvioitu lämmitystarvelukujen perusteella. Lämpimän käyttöveden kulutus on arvioitu yhtä suureksi vuoden jokaisena kuukautena. (Kaipainen 2020)

Hyödynnettävissä olevan lauhteen energian laskennassa on hyödynnetty vuoden 2019 sähkönkulutustietoja. Kompressorin osuus kokonaissähköenergiankulutuksesta on arvioitu aikaisemmin tehdyn energiakatselmuksen (Tähtinen ym. 2018, 9–10) ja kirjallisuuslähteiden pohjalta. Lauhduttimen energian kuukausittainen määrä on laskettu jäästä poistetun lämpöenergian ja kompressorin käyttämän sähköenergian summana. Tämän jälkeen on laskettu jäähallin lämpöenergiantarve kuukausitasolla. Jäähallin tuottaman lauhteen energian ja lämpöenergiantarpeen erotus on ylimääräinen energia, joka on hyödynnettävissä palvelutalossa. Kuvassa 4 esitetään pylväskuvaajana, sinisellä, palvelutalon lämpöenergiantarve ja oransseina pylväinä jäähallin ylimääräinen lauhteen energia kuukausitasolla (MWh/kk). (Kaipainen 2020) Palvelutalon lämpöenergiantarve on tammi-huhtikuussa keskimäärin 85 MWh/kk, jolloin jäähallilta saatava energia kattaa lähes kaiken palvelutalon lämmöntarpeen. Kesäkuukausina palvelutalon lämmöntarve on noin 10 MWh/kk, ja jäähalli on poissa käytöstä. Elo-joulukuussa saatavissa oleva lauhte-energia on jäähallin käytöstä johtuen keskimäärin 125 MWh/kk, mikä on noin kaksi ja puoli kertaa enemmän kuin palvelutalon lämmitykseen tarvittava keskimääräinen kuukausienergia (48 MWh/kk).



**KUVA 4.** Palvelutalon lämpöenergiantarve ja jäähallin ylimääräinen lauhte-energia (MWh/kk) kuukausitasolla (kuva Tero Kaipainen).

## LÄMPÖPUMPPU UIMAHALLIN LÄMMÖNTALTEENOTTOON

Uimahallien allastilojen poistoilman lämpöenergiasältö on suuri (mm. suhteellisesta kosteudesta johtuen), jolloin lämpöenergiaa hyödynnetään lämmöntalteenoton avulla tuloilman lämmitykseen. Kuitenkaan lämmöntalteenotto ei aina kykene hyödyntämään kaikkea tarjolla olevaa lämpöä. Tällaisessa tilanteessa lisälämmönvaihdin on mahdollinen. Hukka-veks-hankkeessa tehdään pilotointi Karhulan uimahallin PK3-ilmanvaihtokoneeseen, jossa asennetaan lisälämmönvaihdin jäteilmakanavaan (kuva 5). Talteen otettu lisälämpöenergia hyödynnetään lämpöpumpun avulla allasveden lämmitykseen. Vaadittava lämmitysenergia sisältää kiertö- ja lisäveden lämmityksen ja lämpöhäviöt, muun muassa allasveden haihtumisesta johtuvan jäähtymisen. Asennuksen on määrä olla valmiina vuoden 2021 alkupuolella, jonka jälkeen päästään suorittamaan testiajoja ja mittauksia.



**KUVA 5.** Karhulan uimahallin poistoilmakone, johon pilotoidaan lisälämmöntalteenotto lämpöpumpputekniikalla (kuva Tuija Korpela).

## OPPILASTÖITÄ TODELLISISSA KOHTEISSA

Xamkin energiatekniikan lämpö- ja virtaustekniikan opintojaksoissa on painotettu viime vuosina energiatehokkuutta ja etenkin hukkalämmön hyödyntämistä. Energiakatselmustoiminta perustuu lämpötekniikan osalta käytännössä hukkalämpövirtojen pienentämiseen. Hukkalämmön hyötykäyttö tulee olemaan jatkossa merkittävä asia energian tehokkaassa käytössä.

Energiatekniikan opiskelijat ovat olleet mukana tutkimus- ja kehityshankkeissa jo useiden vuosien ajan esimerkiksi energiakatselmusprojekti-opintojaksolla. Energiaselvityksissä painotetaan nykyään aikaisempaa enemmän hukkalämmön hyödyntämistä pienistä kiinteistöistä aina teollisuuskokoluokan laitoksiin asti.

## JOHTOPÄÄTÖKSET

Teollisuus-, palvelu- ja asuinrakennuksissa syntyy merkittäviä määriä hukkalämpöä. Huk-  
kaveks-hankkeessa selvitetään vähähiilisiä ratkaisuja, hukkalämmön hyödyntämispotenti-  
aalia ja talteenottotekniikoita, joita voidaan alueellisesti hyödyntää. Hankkeessa tehdään  
energiaselvityksiä ja pilotointia erityyppisissä kohteissa ja yhdistetään tutkimus-, kehitys- ja  
innovointityötä Xamkin oppilastöihin. Tässä yhteenvedossa esitellään asunrakennusten sekä  
jää- ja uimahallien hukkalämpöpotentiaalia ja muutamia käytännön hyödyntämiskäytännön ratkaisuja.

Hukkalämmön hyödyntämismahdollisuudet ovat osoittautuneet kiinnostaviksi Kymen-  
laakson alueen yrityksissä ja kunnissa. Käynnissä olevat valtakunnalliset hankkeet ovat  
myöskin olleet kiinnostuneita yhteistyöstä. Hukkalämpö, uusiutuva energia, kaukolämpö-  
ja lämpöpumpputekniikan hyödyntäminen sekä lämpövarastot ovat keskeisessä roolissa  
korvaamaan aiemmin fossiililla polttoaineilla toteutettua lämmitystä. Tässä artikkelissa  
on tuotu esille joitakin menetelmiä ja alustavia tuloksia, joita hankkeen ensimmäisen to-  
teutusvuoden aikana on havaittu.

## LÄHTEET

Kaipainen, T. 2020. Karhulan jäähallin lauhde-energian hyödyntäminen lähistölle suunnitellussa palvelutalossa. Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu.

Motiva. 2014. Tuotannon hukkalämpö hyödyksi. PDF-dokumentti. Saatavissa: [https://www.motiva.fi/files/8501/Tuotannon\\_hukkalampo\\_hyodyksi.pdf](https://www.motiva.fi/files/8501/Tuotannon_hukkalampo_hyodyksi.pdf) [viitattu 25.8.2020]

Rakennuslehti. s.a. Hukkalämpö hyödyksi. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.rakennuslehti.fi/mainos/hukkalampo-hyodyksi/> [viitattu 25.8.2020]

Tähtinen, T., Kunttu, S. & Toivanen, L. 2018. Energiakatselmusraportti Karhulan jäähalli. Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu. Energiakatselmus.

VTT. 2020. Hukkalämpö kaukolämpöjärjestelmissä. Rämä M., Klobut K. WWW-dokumentti. Saatavissa: [https://energia.fi/files/4831/Hukkalampo\\_kaukolampojarjestelmissa\\_-\\_maarittely\\_ja\\_luokittelu\\_VTT\\_2020.pdf](https://energia.fi/files/4831/Hukkalampo_kaukolampojarjestelmissa_-_maarittely_ja_luokittelu_VTT_2020.pdf). [viitattu 27.8.2020]

VTT. 2015. Poistoilmalämpöpumput kaukolämpöjärjestelmissä. Rämä M., Niemi R., Similä L., WWW-dokumentti. Saatavissa: [https://www.edilex.fi/data/rakentamismaaraykset/poistoilmalampopumput\\_kaukolampojarjestelmassa.pdf](https://www.edilex.fi/data/rakentamismaaraykset/poistoilmalampopumput_kaukolampojarjestelmassa.pdf) [viitattu 3.9.2020]

Ympäristöministeriö. 2020a. Hallituksen ilmastopolitiikka: kohti hiilineutraalia Suomea 2035. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.ym.fi/hiilineutraalisuomi2035> [viitattu 25.8.2020]

Ympäristöministeriö. 2020b. Pitkän aikavälin korjausrakentamisen strategia 2020–2050. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.ym.fi/download/noname/%7B242AE19E-F497-4A38-8DF2-95556530BA53%7D/156573> [viitattu 27.8.2020]



# PURKUKATSELMOINNISTA UUTTA LIIKETOIMINTAA

Elli Tykkä & Laura Koskikallio & Katja Ahola

Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu (Xamk) lähti kehittämään purkukatselmointia ja -kartoitusta keväällä 2020 osana ReUse-hanketta. Tätä kehitystyötä ohjasi vahvasti sekä EU:n tavoitteet, uudistunut jätelaki että ympäristöministeriön loppuvuodesta 2019 julkaisemat oppaat.

Kehitystyössä laadittiin kolmen kohteen purkukartoitusraportti eri tilaajaorganisaatioille, jotta päästiin syvemmälle liiketoimintaan, sen kehittämistarpeisiin, tarvittavan osaamisen tunnistamiseen ja sitä kautta pohdintaan, voisiko aika olla kypsä purkukartoittamisen liiketoiminnalle ja kenelle ja millä ehdoin sitä tulisi toteuttaa.

## LAIT JA OPPAAT OHJAAMASSA KEHITYSTYÖTÄ

Xamk lähti kehittämään purkukatselmointia keväällä 2020 osana ReUse-hanketta. Tätä kehitystyötä ohjasi vahvasti sekä EU:n tavoitteet, uudistunut jätelaki että ympäristöministeriön loppuvuodesta 2019 julkaisemat oppaat.

Jätteistä annetussa valtioneuvoston asetuksessa 179/2012 on asetettu, että vuonna 2020 vaarattomasta rakennus- ja purkujätteestä on hyödynnettävä 70 prosenttia muutoin kuin energiana tai valmistamalla siitä polttoainetta. Hyödyntämistavoite ei koske maa-aineksia. Rakennushankkeeseen ryhtyvän on huolehdittava hankkeen suunnittelusta ja toteuttamisesta siten, että jätelain 8 §:n mukaisesti otetaan talteen ja käytetään uudelleen käyttökelpoiset esineet ja aineet ja että toiminnassa syntyy mahdollisimman vähän ja mahdollisimman haitatonta rakennus- ja purkujätettä (Jätelaki 2011). Jätelain muutos ja sitä täydentävä valtioneuvoston asetus tulivat voimaan 1.1.2020. Jätelain muutos edellyttää, että jätteen haltijan on etsittävä Materiaalitorissa jätteelleen markkinaehtoista jätehuoltopalvelua, ennen kuin voi pyytää palvelua kunnalta muun palvelutarjonnan puutteen vuoksi

Ympäristöministeriö julkaisi marraskuussa kolme opasta, erikseen purkutöiden teettäjälle ja tekijälle, purkukartoituksen laatijalle sekä oppaan purkuhankkeen julkisiin hankintoihin. Oppaat ovat ladattavissa ympäristöministeriön sivuilla (Ympäristöministeriö 2019).

## **PURKUTYÖT – OPAS TEETTÄJÄLLE JA TEKIJÄLLE**

Oppaassa kuvataan muun muassa eri toimijoiden roolit ja vastuut, tarvittavat etapit purkutyon hyvän hallinnan kannalta, purkamisen työsuojaus sekä eri materiaalien hyödyntämiseen liittyvät tekijät.

## **PURKUKARTOITUS – OPAS LAATIJALLE**

Oppaasta purettavan rakennuksen inventoinnin tekemiseen ennen purkua. Purkukartoitus on uusi, vapaaehtoinen toimenpide purkumateriaalien ja haitallisten aineiden kartoitukseen.

## **KIERTOTALOUS PURKUHANKKEISSA – OPAS JULKISIIN HANKINTOIHIN**

Oppaassa kuvataan vapaaehtoiset hankintakriteerit, joiden avulla korjaus- ja purkuhankkeissa voidaan parantaa kiertotaloutta ja materiaalitehokkuutta.

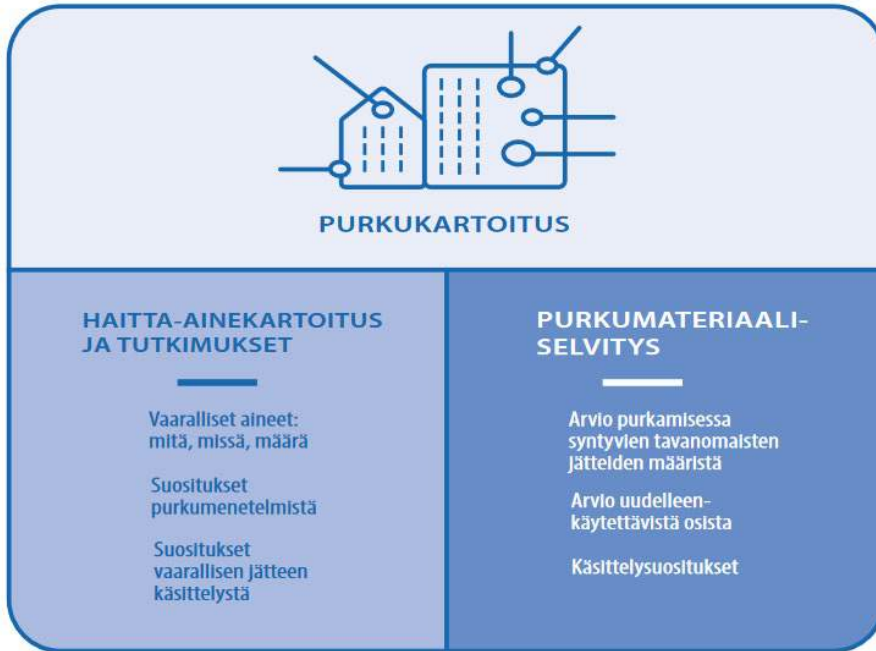
## **REUSE-HANKEELLE LISÄRESURSSOINTI KEHITYSTYÖHÖN**

ReUse-hankkeen tavoitteena on kehittää purku- ja ylijäämämateriaalien uudelleenkäyttöä rakennusteollisuudessa. Erilaisille rakennus-, purku- ja ylijäämämateriaaleille voi löytyä tuottavampaakin käyttöä kuin käyttäminen maanrakennustyömailla täyttöaineksena tai energian tuotossa polttamalla. ReUse-hankkeessa pyritäänkin kiertotalouden edistämiseen rakennusteollisuudessa ja erilaisten hukka- ja purkumateriaalien hyötykäytön edistämiseen. Kiertotalousnäkökohtien huomioiminen rakennussektorilla voi hyödyttää toimialan liiketoimintaa ja nostaa alueen kiertotalousosaamista myös rakennusalalla. Xamk toimii hankkeessa rakennustekniikan asiantuntijana ja koulutussektorin yhteistyön edistäjänä Kinnon toimissa yritysrajoitukseksi. Hankkeen rahoittaa Kymenlaakson liitto. (Xamk 2020)

Hankkeen edetessä tunnistettiin tarve selvittää purkukohteiden materiaalit ja materiaalmäärät. Tämä on lähtökohtainen edellytys purkumateriaalien hyödyntämismahdollisuuksien selvittämiseksi. Lisääntyneen tiedon avulla syntyy mahdollisuus uuden liiketoiminnan muodostumiseen, mikä nousi esille muun muassa hankkeen järjestämässä rakentamisen kiertotalousseminaarissa loppuvuodesta 2019. Purkukatselmuksiin tarvittavaa osaamista haluttiin lisätä sekä kartoittaa mahdollisuuksia kyseisen palvelun muodostamiseen joko osaksi Xamkin KymiLabsin toimintaa tai alueen yrityksille. Hankkeen lisäresursoinnin avulla varmistettiin, että hankkeessa voidaan selvittää purkukatselmuksien sisältöä ja niiden toteuttamiseen tarvittavan osaamisen tunnistamista ja kehittämistä sekä mahdollisen palvelutuotteen sisällön suunnittelua.

## PURKUKARTOITUKSEN SISÄLTÖ PÄHKINÄNKUORESSA

Ympäristöministeriön uusien ohjeiden mukaisesti purkukartoitus koostuu haitta-ainekartoituksesta ja tutkimuksista sekä purkumateriaaliselvityksestä alla olevan kuvan mukaisesti (kuva1).



**KUVA 1.** Purkukartoituksen sisältö (Valtioneuvosto 2019).

Haitta-ainekartoitusta ja -tutkimuksia ei sisällytetty näihin ReUse-hankkeen kohteisiin, koska ne oli teetetty / teetetään tilaajan toimesta erikseen. Lain mukaan asbestikartoitus on pakollinen kaikille purettaville ja saneerattaville rakennuksille, jotka on rakennettu ennen vuotta 1995.

Hankkeessa saatiin keskittyä purkumateriaaliselvitykseen, joka tulisi tuttujen haitta-ainekartoitusten ja -tutkimusten rinnalle. Purkumateriaaliselvitys on vapaaehtoinen, mutta sen tekemistä suositellaan kaikille purkukohteille. Kiinteistön omistaja tai sen haltija voi itse tehdä purkumateriaaliselvityksen, mutta on suositeltavaa käyttää ulkopuolista asiantuntijaa. Jos haitta-ainekartoittajalla on riittävä osaaminen myös purkumateriaaliselvityksen tekemiseen, on suositeltavaa käyttää haitta-ainekartoittajaa myös purkumateriaaliselvityksen laadintaan. Mikäli rakennusta ei heti purkukartoituksen jälkeen pureta, kartoitus tulisi tarpeen mukaan päivittää, jos rakennuksen rakenteissa tai käytössä tapahtuu merkittäviä muutoksia.

Jätelain mukaan jätehuoltoa ohjaa etusijajärjestys (kuva 2). Lähtökohtaisesti jätteen syntyä tulisi ehkäistä. Jätettä kuitenkin syntyy, joten se tulisi ensisijaisesti uudelleen käyttää. Jos uudelleenkäyttö ei ole mahdollista, tulee jäte joko toimittaa uusiokäyttöön materiaalina tai hyödyntää se energiana. Viimeinen vaihtoehto on loppusijoitus kaatopaikalle tai poltto ilman energiahyödyntämistä.



**KUVA 2.** Etusijajärjestys. (Kymenlaakson Jäte 2020).

## HANKKEESSA TEHTIIN KOLME PURKUKARTOITUSRAPORTTIA

Hankkeen rahoituksella tehtiin kolme purkukartoitusraporttia. Kohteet valikoituivat ReUse-hankkeen yhteistyöverkoston kautta. Purkukartoitusraportin laatiminen aloitettiin aineistotutkimuksella, jota täydennettiin kenttätutkimuksella. Tämän jälkeen kerättiin tiedot eri materiaalien tiheyksistä, jotta pystyttiin laskemaan materiaalin määrä tonneissa.

Ensimmäinen kohde oli Kouvolan Asuntojen vanha opiskelija-asuntola Kuusankoskella. Ensimmäistä raporttia varten käytettävissä oleva aineisto saatiin Kouvolan Asunnoilta. Aineisto sisälsi alkuperäisiä ja revisiokuvia sekä rakennusselostuksen. Aineistotutkimuksen jälkeen suoritettiin kenttätutkimus, jossa verrattiin kuvia ja toteutumaa. Raportin teossa yllätti sen laajuus. Koska kartoitusta lähdettiin tekemään täysin puhtaalta pöydältä, valmistelevaa työtä oli paljon. Suurin työ oli määrälaskentaa varten tarvittavan aineiston keräämisessä, muun muassa rakennusmateriaalien neliöpainojen ja tiheyksien selvittämisessä.

Toinen kohde oli Kotkan Asuntojen asuinkerrostalo Kotkan Ristinkalliolla. Kohteen raporttia varten tehtiin aineisto- ja kenttätutkimus kuten ensimmäisessäkin kohteessa.

Kotkan kohteen määrälaskentatuloksien muuttaminen tonneiksi oli kuitenkin selvästi vaikeampaa, koska mitat täytyi syöttää vain valmiiksi luotuun Excel-laskentataulukkoon.

Kolmas kohde oli Kouvolan kaupungin vielä käytössä oleva koulurakennus. Rakennus on mahdollisesti tarkoitus purkaa lähivuosina. Toteutus raporttia laadittaessa seurasi samaa kaavaa kuin aiemmissa kohteissa. Kolmas kohde oli kuitenkin kaikkein työllistävien puutteellisen aineiston takia. Määriä laskettaessa jouduttiin melko paljon arvioimaan rakennepaksuuksia ja muita yksityiskohtia. Kentätutkimus kohteessa oli kuitenkin kaikista kolmesta kattavin ja huolellisimmin toteutettu.

Jälkimmäiset raportit olivat helpompia toteuttaa kuin ensimmäinen, sillä materiaaliaineisto oli valmiina. Toisaalta työtä hidasti puutteellinen lähtöaineisto kuvien ja selostusten osalta. Raportin epävarmuus kasvaa, mitä enemmän sen laatimisen aikana joutuu arvioimaan muuttujia. Esimerkiksi sokkelin paksuuden kasvaessa 10 senttimetriä perustusten tilavuus kasvaa koko rakennuksen osalta jo huomattavasti. Puutteellisten lähtötietojen vuoksi rakennepaksuuksia joutui toisessa ja kolmannessa kohteessa arvioimaan, joten määrälaskennan tulos on epävarmempi kuin se olisi todellisilla mitoilla laskettuna.

Hankkeessa tehtyihin kohteisiin tehtiin vähäisiä lisätutkimuksia, ja esimerkiksi Kotkan kohteessa ulkoseinän rakennetyyppi varmistui vasta ulkoseinää avaamalla.

*Hyödynnettävät rakennusosat ja -materiaalit* -listaukset tehtiin saatavissa olevan lähtöaineiston perusteella. Koska aineisto oli puutteellista, osa listauksista perustui arvioihin. Raporteissa rakennusosat ja -materiaalit järjestettiin Talo 80 -nimikkeistön mukaiseen järjestykseen: 1) Maa- ja pohjarakennus, 2) Perustukset, maanvarainen laatta, vss ja ulkopuoliset rakenteet, 3) Runko ja yläpohja, 4) Täydentävät rakenteet, 5) Pintamateriaalit, 6) Kalusteet, varusteet ja laitteet ja 7) LVISA -tekniikka.

## **BETONIN OSUUS PURKUJÄTTEISTÄ JOPA 95 PROSENTTIA**

Purkukatselmusraporttien yhteenvedojen perusteella suurin osa purkujätteestä jokaisessa kohteessa muodostuu betonista (taulukko 1). Betonijätettä syntyy saatavilla olleen lähtöaineiston perusteella arviolta 85–95 prosenttia kokonaisjättemäärästä. Tämä jäte murskataan. Sijoituskohteena suositeltiin tilaajalta saatuja kohteita, Kouvolassa RRT-terminaalia ja Kotkassa Mussalon satama-alueita. RRT-terminaalin osalta saatiin tarkat vaatimukset sekä betoni- että tiilijätteelle. Paikallavalubetonit on saatava murskauksen kautta mahdollisimman lähelle hyötykäyttöön, ja näin vähennetään neitseellisen kiviaineksen tarvetta maanrakentamisessa.

Muutoin kohteet sisälsivät painoprosentteina verrattain vähän sellaisenaan hyödynnettävää. Hyödynnettävissä oli muun muassa kodinkoneita, kiinto- ja saniteettikalusteita sekä

erinäisiä heloja. Varsinkin muutamat keittiökaluksat, jääkaapit ja liedet olivat verrattain hyvässä kunnossa ja puhdistettuna uudelleenkäytettävissä.

**TAULUKKO 1.** Purkujätteiden määrät lajikkeittain kahdessa ensimmäisessä kohteessa.

Lajike	määrä [tn]
Betonijäte	1650
Tiilijäte	5,5
Puujäte	8
Mineraalivilla	7
Lasi	0,7
Muovijäte	3,5
Metallijäte	1
Asbesti	14
Kivijäte	1

Lajike	määrä [tn]
Betonijäte	2400
Tiilijäte	155
Puujäte	40
Metallijäte	150
Lasijäte	3,5
Villa	11
Saniteettiposliini	1,5

Kaatopaikan sijaan kaikki jätteet kannattaa lajitella purkupaikallaan. Lasit voidaan hyödyntää vaahtolasin valmistuksessa, tiilet ja betonit maanrakennuksessa, metallit myydään jatkojalostukseen. Puulle ei vielä ole keksitty Kaakkois-Suomessa parempaa tapaa kuin energiaksi poltto. Jätepuun puukuitua kuitenkin käytetään jo nyt muun muassa puukiven kaltaisten tuotteiden valmistukseen. Geopolymeeritekniikan kehittyessä tulevaisuudessa mineraalivillasta pyritään saamaan sementin korvaava raaka-aine rakennusteollisuuden tuotteisiin. (Wool2Loop 2020)

## KEHITYSTYÖN TULOKSIA

ReUse-hankkeen kolmessa kohteessa oli kierrätettävää materiaalia melko vähän. Raporttien painoarvo on muutoin hyödynnettävien materiaalien inventoinnilla. Suurelle osalle purettavasta materiaalista on luonteva jatkosijoituspaikka. Myös materiaalin energiapolto on perusteltua, jos sille ei voida osoittaa hyödyllisempää käyttöä. Uusiokäyttöön tai energiapoltoon sopimattomia materiaaleja olivat etupäässä eristeenä käytetyt mineraalivillat.

Kohteissa oli vaihtelevasti uudelleenkäytettävää irtainta, mutta kaikelle käyttökelpoiselle olisi suositeltavaa saada uusi käyttökohde. Omistajalla harvoin on omia resursseja irtaimen puhdistamiseen, kuvaamiseen, myynti-ilmoitteluun ja varsinaiseen myyntiin. Toisaalta julkinen omistaja ei välttämättä voi myydä yksittäisiä artikkeleja suoraan ilman kilpailutusta, minkä vuoksi usein koko kohde kaikkine sisältöineen on jätetty purku-urakoitsijan hoidettavaksi. Purku-urakoitsijoilla on kuitenkin oma rajallinen ja usein tiukka aikataulunsa, eikä siihen ole useinkaan mahdollista sisällyttää kaikkien purettavien osien myyntiä.

Käyttökelpoisen irtaimen uudelleenkäytön mahdollistamiseksi hankkeen edetessä heräsi idea puitekumppanin mukaan ottamisesta. Tilaajan puitekumppani huolehtisi irtaimen puhdistamisesta, valokuvaamisesta, noutamisesta, varastoinnista ja myymisestä. Mahdollisia myyntiartikkeleita olisi muun muassa kodinkoneet (jääkaapit, liedet), kiintokalusteet, saniteettikalusteet, helat, suurtauluskeittiöt ja varusteet. Myös muita uudelleenkäyttöön soveltuvia osia voisi myydä. Suurempaa varastotilaa vaativia kalusteita varten kumppanilla tulisi olla varastotilaa, jos myynti paikan päällä ei aikataulullisesti onnistuisi.

Purkumateriaalien myyjien ja ostajien kohtauttamiseen apuja tuo myös 1.1.2020 käyttöön otettu Materiaalitori. Materiaalitorissa voidaan ilmoittaa myyntiin vaikkapa purkuun menevän koulun kalusteet, varusteet ja laitteet ja vastaavasti ostaja voi etsiä ilmoituksia ja luoda oman ostoilmoituksensa. Vuoden 2020 alusta alkaen jätteen haltijan on etsittävä Materiaalitorissa jätteelleen markkinaehtoista jätehuoltopalvelua ennen kuin voi pyytää palvelua kunnalta markkinapuitteen vuoksi. Julkiset jätteen haltijat eli hankintayksiköt tulevat veloitteen piiriin vuoden 2021 alusta. (Motiva 2020)

## JOHTOPÄÄTÖKSET – KEHITYSTYÖ JATKUU

Huolellinen suunnittelu purkamisessa tuo säästöjä jättekustannuksissa sekä edistää osien ja materiaalien hyödyntämistä. Jätelaissa on asetettu järjestettäväksi erilliskeräys muun muassa betoni-, tiili-, keramiikka-, metalli-, lasi- ja muovijätejakeille (Jätelaki 17.6.2011/646). Käytännössä kuitenkin lasijäte päättyy sekalaisen rakennusjätteen tai tiili- ja betonijätteen joukkoon. Muovijäte puolestaan on usein likaantunutta ja materiaaleja on monia, jolloin hyödyntäminen on haastavaa. Jokaisen jakeen erilliskeräys on usein myös tilan ja kustannusten kannalta mahdotonta. Muovia tai lasia tulee verrattain vähän, jolloin on kustannustehokkaampaa sijoittaa se sekajätteen joukkoon kuin ottaa sille oma keräyspiste työmaalle. Laatomalla erillinen purkukartoitusraportti on kuitenkin mahdollista etsiä optimaalinen ratkaisu todellisiin jätemääriin.

Vaikka kaikki hyödynnettävissä oleva materiaali olisi tehokkainta uudelleen käyttää sellaisenaan tai kierrättää raaka-aineeksi, tämä ei ole aivan mutkatonta. Yhtenä epävarmuustekijänä on purkumateriaalien uudelleenkäytön kysyntä. Monilla saattaa olla ennakkoluulo siitä, että aikaisemmin käytetty materiaali on peräisin jostakin sisäilmaongelmaisesta rakennuksesta, jolloin materiaalin mukana pelätään tulevan epäpuhtauksia. Myös rakenteen käyttöikä saattaa mietittyttää. Nämä asiat pitäisi pystyä todistamaan uudelleenkäytettävän materiaalin ostajalle siten, ettei epäilyksille jäisi sijaa.

Toinen kompastuskivi lienee aiheen vieraus. Koska rakentamisen kiertotaloutta ei tunneta, muutokset voidaan kokea hankaliksi ja jopa pelottaviksi riskitekijöiksi. Koska purkumateriaalin jatkokäyttö aiheuttaa lisätyötä ja -kustannuksia, siihen ei välttämättä haluta edes tutustua. Toimivalla kiertotaloudella saadaan kuitenkin paljon hyötyä ympäristön mutta

myös yrityksen kannalta. Yhä enenevässä määrin maapallon hyvinvointi on noussut ihmisten arvoasteikolla, joten moni suosii yritystä, joka tekee oman osansa asian eteen. Asiakkaan hankintapäätöksen osuessa ekologisesti toimivaan yritykseen se tietää suoraa positiivista vaikutusta yrityksen liiketoimintaan. Taloudellista hyötyä on myös yrityksille, jotka hyödyntävät jo käytettyä materiaalia omassa toiminnassaan.

Kierrätysliiketoiminnan edistämisen edellytys olisi, että purettavan kohteen tiedot olisivat julkisia. Materiaalien määrä ja laatu tulisi olla saatavilla, jotta mahdollisimman moni pääsisi niitä hyödyntämään. Materiaalien käytön suunnittelun edistämistä tulisi kehittää, jotta materiaalien saatavuus ja sijainti kävisivät ilmi helposti tietoja hyödyntäville.

Koska ympäristöministeriön suositus on vielä uusi, purkukartoitukset yleistyvät hitaasti. Liiketoimintaa pelkällä purkukartoitusten laatimisella ei ehkä vielä pysty toteuttamaan, mutta jo olemassa olevan toiminnan ohella sillä on potentiaalia. Purkukartoitusten tarjoaminen asiakkaille olisi loogisinta asbesti- ja haitta-ainekartoituksen yhteydessä, sillä ne ovat osa purkukartoitusta. Purettavan materiaalin inventointi on samankaltaista kuin haitta-aineita sisältävien materiaalien inventointi, ja se perustuu aineisto- ja kenttätutkimukseen määrälaskentoihin. Vaikka kysyntää kartoitukselle ei vielä olisi, kannattaa niitä silti tarjota. Tilaajien huomatessa purkukartoituksen edut palvelu tulee varmasti nostamaan suosiotaan.

Iso potentiaali julkisten purkukohteiden helposti irrotettavien rakennusmateriaalien hyödyntämisessä nähdään kolmannen sektorin mukaan ottamisella hankkeisiin heti purkupäätöksen varmistuttua. Kun käyttökelpoista tavaraa ei ohjata uudelleenkäyttöön, syntyy suuria määriä turhaa jätettä. Esimerkiksi purettavassa kohteessa saattaa olla hyväkuntoinen, vasta uusittu keittiö kodinkoneineen. Tämä on purkuvaiheessa nykyisen käytännön mukaan omistajalle arvotonta ja päätyy loppusijoitukseen. Tästä keittiöstä voisi kuluttaja saada pienellä sijoituksella hyvän keittiön tai sen osia itselleen. Myös saniteettikalusteet ovat hyvä edelleen myytävä kohde. Kolmannen sektorin toimijan toimiessa puitekumppanina saavutetaan merkittävää etua niin aikataulullisesti kuin myös kustannustehokkuuden kannalta. Puitekumppanuus olisi etu jokaiselle osapuolelle: omistaja saisi purettavaa kiinteistöään tyhjemmäksi hänelle arvottoman tavaran osalta ilman vaivaa, kolmannen sektorin edustaja saisi liiketoimintaa, purku-urakoitsija säästäisi aikaa ja rahaa sekä ympäristö kuormittuisi vähemmän. Puitekumppaniksi sopiva taho olisi esimerkiksi säätiö, joka järjestää työllistämistä- ja kuntoutuspalveluja sekä lisää asiakkaidensa työ- ja toimintakykyä. Tällaisen puitekumppanin kilpailuttamiseksi on ReUse-hankkeessa aloitettu vuoropuhelu alueen isojen julkisten toimijoiden sekä yhteistyössä paikallisten elinkeino-yhtiöiden Keino-muutosagenttien kanssa.



## LÄHTEET

Jätelaki 17.6.2011/646.

Kymenlaakson jäte. Kotisivut. Jätteiden etusijajärjestys. Saatavissa: <https://www.kymenlaaksonjate.fi/wp-content/uploads/2018/03/etusijaj%C3%A4rjestys.jpg> . [Viitattu 1.9.2020]

Motiva ja ympäristöministeriö. Materiaalitori. Jätteiden ja sivuvirtojen tietoaalusta. Saatavissa: [www.materiaalitori.fi](http://www.materiaalitori.fi) . [Viitattu 2.9.2020]

Valtioneuvosto. 15.11.2019. Opas. Purkukartoitus – opas laatijalle. WWW-dokumentti. Saatavissa: [http://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/161883/YM\\_2019\\_30.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/161883/YM_2019_30.pdf?sequence=1&isAllowed=y). [Viitattu 18.6.2020]

Wool2Loop. 2020. Hankkeen kotisivut. Saatavissa: <https://www.wool2loop.eu/en/project/>. [Viitattu 8.6.2020]

Xamk. Kotisivut. REUSE edistää rakennus- ja purkuteollisuuden kierrätystä. Saatavissa: <https://www.xamk.fi/tutkimus-ja-kehitys/reuse-edistaa-rakennus-ja-purkuteollisuuden-kierratusta/>. [Viitattu 8.6.2020]

Ympäristöministeriö. 15.11.2019. Tiedote. Uudet oppaat rakennusten kestäväan purkamiseen. WWW-dokumentti. Saatavissa: [https://www.ymparisto.fi/FI-Ajankohtaista/Uudet-oppaat-rakennusten-kestavaan-purka\(52764\)](https://www.ymparisto.fi/FI-Ajankohtaista/Uudet-oppaat-rakennusten-kestavaan-purka(52764)) . [Viitattu 25.8.2020]

# PUHTAAMMAN MERILIIKENTEN MAHDOLLISUUDET

Sirpa Rahiala & Elias Altarriba & Marko Piispa

Meriliikenteen vuosittaiset päästöt vaikuttavat globaalisti ilmastonmuutoksen kiihtymiseen ja huonontavat paikallista ilmanlaatua. Yksinkertaisia ratkaisuja meriliikenteen päästöjen vähentämiseksi ei kuitenkaan ole. Varustamoiden investointipäätöksillä on muodostuvien päästöjen näkökulmasta kauaskantoisia vaikutuksia, sillä laivojen käyttöikä on tavallisesti 30–40 vuotta. MEPTTEK-hankkeessa vertaillaan käytössä olevia päästövähennystekniikoita, ja tavoitteena on tuottaa tietoa varustamoille ja muille merenkulun sidosryhmille valittujen päästövähennystekniikoiden ominaisuuksista, tehokkuudesta ja kustannuksista sekä tuottaa verifioituja mittaustuloksia erilaisista päästövähennystekniikoiden vaikutuksista todellisissa olosuhteissa.

Hanke toteutetaan Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulun (Xamk) Metsä, ympäristö ja energia -vahvuusalan ja Logistiikka ja merenkulku -vahvuusalan yhteistyönä. Hankkeen päärahoittajana toimii Kymenlaakson liiton hallinnoima Euroopan aluekehitysrahasto (EAKR).

## JOHDANTO

Laivojen pakokaasupäästöt muodostuvat pääasiallisesti hiilidioksidista, typpi- ja rikkidioksidiesta, hiilimonoksidista, palamattomista hiilivedyistä sekä kiintoainehiukkasista. Erityisesti hiilidioksidi- ja hiukkaspäästöt kiihdyttävät ilmastonmuutosta, ja paikallistasolla, kuten satamissa ja niiden lähiympäristöissä, hiukkas-, rikkioksidi- ja typen oksidien pitoisuudet nousevat usein tarpeettoman korkeiksi. Tuolloin erityisesti satamassa työskentelevien tai laivareittien varrella asuvien henkilöiden pitkäaikainen altistuminen näille ympäristömyrkyille voi aiheuttaa ilman pilaantumisen lisäksi myös terveysongelmia.

Aikavälillä 2007–2012 laivojen päästöt aiheuttivat 3,1 prosenttia vuosittaisista globaaleista CO<sub>2</sub>-päästöistä ja 2,8 prosenttia vuosittaisista kasvihuonekaasupäästöistä, ja NO<sub>x</sub>- ja SO<sub>x</sub>-päästöt edustivat noin 15:n ja 13 prosentin osuuksia (Third IMO GHG Study 2014, 1–2). Vuonna 2018 Itämerellä liikennöivillä aluksilla päästöjen kokonaismäärät olivat 330 000 tonnia typenoksideja, 10 000 tonnia SO<sub>x</sub>:ää, 10 000 tonnia hiukkasia ja 15,7 miljoonaa tonnia hiilidioksidia. Ropax-alukset, lastialukset, säiliöalukset ja konttialukset ovat suurimmat päästöjen aiheuttajat (Jalkanen & Johansson 2019, 3). Kymenlaakson alueella

vesiliikenteen päästöt ovat olleet viime vuosina (2012–2017) alle 80 000 CO<sub>2</sub>ekv tonnia vuodessa. Suurimman päästölähteen alueella ovat muodostaneet satamat, ja näihin päästöihin on sisällytetty päästöt, jotka syntyvät alusten satamakäynneistä, satama-alueilla ajosta ja aluksen laiturissa olostä. Satamien päästöt ovat vastanneet noin puolta kokonaispäästöistä vuonna 2017. Toiseksi suurin alueellinen päästölähde ovat olleet laivat, ja niiden osuus on 14 prosenttia kokonaismäärästä vuonna 2017. (Savikko ym. 2019, 58–59)

Meriliikennemäärät kasvavat, ja tämän vuoksi myös päästöjen odotetaan kasvavan tulevaisuudessa. Laivaliikenteen päästöjen sääntely tapahtuu kansainvälisten sopimusten kautta. Kansainvälinen merenkulkujärjestö IMO on pannut täytäntöön kansainvälisen yleissopimuksen laivojen aiheuttaman saastumisen estämiseksi; MARPOL 73/78 liite VI käsittelee ilman pilaantumisen ehkäisemistä sisältäen rajoituksia typpioksidin- ja rikkidioksidipäästöihin.

Polttoaineen rikkipitoisuudelle on asetettu erilaisia pitoisuusrajoituksia eri merialueille (ei-SECA ja SECA). Itämeri kuuluu tiukempaan rikkidioksidin rajoitusalueeseen, jossa sallitaan polttoaineen rikkipitoisuudeksi korkeintaan 0,1 prosenttia. Rikkidioksidin päästövähennysteknologiat ovat vaihtoehtona vähärikkisen polttoaineen käytölle, kunhan ne ovat yhtä tehokkaita kuin vähärikkisen polttoaineen käyttö. Solakivi ym. (2019, 343) tuovat esiin, että noin 90 prosenttia Suomen ulkomaankaupasta riippuu joko osittain tai kokonaan SECA-alueella tapahtuvasta meriliikenteestä. Siten Suomessa rikkisäännösten vaikutus varustamoiden päätöksiin on todennäköisesti korkeampi kuin muualla (Solakivi ym. 2019, 343). Typenoksidipäästöjä rajoitetaan moottorin kierrosluvun ja laivan rakentamisvuoden perusteella. TIER I -tason päästörajat asettuvat lukualueelle 9,8–17 g/kWh, TIER II -tason raja-arvot ovat muotoa 7,7–14,4 g/kWh ja TIER III -tason 2–3,4 g/kWh. TIER III -vaatimusten täyttämiseksi tarvitaan kehittyneitä päästövähennysteknologioita, kuten pakokaasujen katalyyttistä jälkikäsitteilyä tai nesteytetyn maakaasun käyttämistä polttoaineena. Itämeri on määritelty typpioksidipäästöjen rajoitusalueeksi eli NECA-alueeksi (NO<sub>x</sub> Emission Control Area) vuoden 2021 alusta alkaen, jolloin TIER III -rajoitus astuu voimaan vuoden 2016 jälkeen rakennetuille laivoille.

Meriliikenteeseen ei ole vielä asetettu sitovia CO<sub>2</sub>-päästörajoituksia, mutta IMO:lla on kunnianhimoinen tavoite vähentää meriliikenteen kasvihuonekaasupäästöjä 50 prosenttia vuoteen 2050 mennessä (IMO resolution MEPC.304(72) 2018). Odotettavissa siis on, että meriliikenne on tavalla tai toisella osa kansainvälistä päästökauppajärjestelmää tulevaisuudessa.

MEPTEK-hankkeessa tutkitaan meriliikenteen päästövähennystekniikoiden tehokkuutta, ominaisuuksia, elinkaarta ja kustannuksia suhteessa menetelmästä saatuun hyötyyn. Hanke toteutetaan suorittamalla laivoilla päästömittauksia ja kulkudatan tallentamista. Data analysoidaan soveltamalla muun muassa Bayes-verkkoteknologiaa, joka on tehokas

ja luotettava lähestymistapa massadatan analysointiin. Lisäksi tehdään eri vaihtoehdolle elinkaarianalyysyjä, jotta voidaan löytää vaihtoehdot, joilla on alhaisten kustannusten lisäksi myös pienet ympäristövaikutukset. Tuloksia menetelmien eroista voidaan hyödyntää sellaisenaan tehtäessä investointipäätöksiä tai säädettäessä uusia meriliikennettä koskevia ympäristönormeja. Hankkeen tavoitteena on muokata tutkimustieto analyysityökaluksi, jolloin voidaan tehdä objektiivisia johtopäätöksiä eri menetelmien eroavuuksista, kustannuksista ja ympäristövaikutuksista. Tämän tavoitteena on auttaa erityisesti varustamoita, satamia, viranomaisia ja poliittisia päättäjiä hyödyntämään hankkeen tuottamaa tutkimustietoa. Hanke toteutetaan vuosina 2020–2022 EAKR-rahoitusohjelman turvin.

## PÄÄSTÖVÄHENNISTEKNIIKOIDEN YMPÄRISTÖVAIKUTUKSET

Projekti on alkanut laajalla kirjallisuuskatsauksella laivojen elinkaariarvioinneista keskittyen erityisesti erilaisiin päästövähennystekniikoihin. Erilaisia päästövähennystekniikoita ovat  $\text{NO}_x$ -päästöjen osalta esimerkiksi pakokaasujen katalyyttinen jälkikäsitely (SCR), imuilman höyrynkostutus, vesiruiskutus sekä nesteytetty maakaasu (LNG).  $\text{SO}_x$ -päästöjen vähentämiseksi käytetään joko erityyppisiä pesureita tai vähärikkisiä polttoaineita, kuten vähärikkinen raskas polttoöljy (VLSFO), meriliikenteessä käytettävä kaasuöljy (MGO) ja dieselöljy (MDO) tai LNG.

Elinkaariarviointi on standardoitu menetelmä, joka käsittelee tuotteen potentiaalisia ympäristövaikutuksia koko sen elinkaaren ajalta raaka-aineiden hankinnasta tuotantoon, käyttöön, käytöstä poistoon, kierrätykseen ja jätteiden loppusijoitukseen (ns. kehdesta hautaan). Myös eri elinkaaren osille voidaan laskea potentiaaliset ympäristövaikutukset, esimerkiksi alkutuotannosta portille tai portilta portille.

Kirjallisuudessa laivojen merkittävimmit ympäristövaikutuksiksi on arvioitu vaikutus ilmaston lämpenemiseen (global warming potential, GWP), happamoituminen, rehevöityminen, fotokemiallisen otsonin muodostuminen ja hiukkasmäärät sekä energiankulutus ja terveysvaikutukset. Nämä ovat olleet kiinnostuksen kohteena, sillä laivan suurimmat päästökomponentit ovat  $\text{CO}_2$ ,  $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}_x$  ja hiukkaset, joihin kohdistuu myös edellä mainittuja lainsäädännöllisiä rajoituksia. LNG-laivoissa metaanivuodot voivat olla myös merkittäviä, mutta niille ei ole ainakaan toistaiseksi asetettu lainsäädännöllisiä rajoituksia. Näistä erityisesti  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$  ja hiukkaset vaikuttavat ilmaston lämpenemiseen,  $\text{SO}_2$  ja  $\text{NO}_x$  happamoitumiseen,  $\text{NO}_x$  rehevöitymiseen sekä  $\text{SO}_2$  ja  $\text{NO}_x$  fotokemiallisen otsonin muodostumiseen.

Tutkimukset voidaan rajata esimerkiksi kolmella tavalla:

- 1) Koko laivan elinkaari sisältäen ympäristövaikutukset raaka-aineiden hankinnasta rakentamiseen, operointiin, huoltoon ja lopputuotteen hävitykseen tai kierrätykseen.
- 2) Tuotetun polttoaineen elinkaari ("well-to-tank", WTT) sisältäen ainoastaan polt-

roaineen tuotantoketjun ympäristövaikutukset.

- 3) Polttoaineen elinkaari käyttöön saakka ("well-to-wake", WTW), jolloin huomioidaan valmistuksen ja kuljetuksen aiheuttamien ympäristövaikutusten lisäksi myös polttoaineen käytöstä aiheutuvat vaikutukset.

Chatzinikolaou ja Ventikos (2015) ja Jeong ym. (2018) ovat tehneet koko laivan elinkaaren sisältäviä tutkimuksia. Chatzinikolaou ja Ventikos (2015, 120) havaitsivat tutkimuksessaan, että käytönaikainen elinkaaren vaihe dominoi päästöjen syntymistä. Esimerkiksi CO<sub>2</sub>-päästöjen osalta 96 prosenttia muodostui käytöstä, kaksi prosenttia laivan rakennuksesta, 0,9 prosenttia huollosta ja 0,8 prosenttia hävittämisestä. Ainoastaan metaanin osalta laivan rakennus oli dominoiva elinkaaren vaihe. Myös Jeong ym. (2018, 129) havaitsivat, että suurimmat potentiaaliset ympäristövaikutukset johtuvat laivan operoinnista.

WTW-analyysijä ovat tehneet esimerkiksi Bengtsson ym. (2011), Ma ym. (2012), Brynolf ym. (2014), Gilbert ym. (2018) ja Lindstad ym. (2020). Bengtsson ym. (2011, 17) vertailivat erilaisia polttoaineratkaisuja, jotka sisälsivät raskaan polttoöljyn (pesurilla ja ilman), MGO:n (SCR:llä ja ilman), LNG:n ja GTL:n (gas to liquid) sekä SRC:llä että ilman. Vertailtujen vaihtoehtojen globaali ilmaston lämpenemispotentiaali (GWP) oli samaa suuruusluokkaa, ja LNG-vaihtoehdot tuottivat hieman alhaisemmat arvot. Lisäksi tutkimuksessa havaittiin, että mahdollinen vaikutus happamoitumiseen ja rehevöitymiseen on huomattavasti pienempi vaihtoehtoissa, jotka täyttävät typpioksidipäästöjä koskevat TIER III -vaatimukset, kuten nesteytetty maakaasu ja SRC:llä varustetut polttoaineratkaisut. (Bengtsson ym. 2011, 37–61)

Toisessa WTW-analyysissä vertailtiin erilaisia polttoaine- ja pesuriskenaarioita (Ma ym. 2012). Polttoainevaihtoehdot olivat eri rikkipitoisuuden sisältäviä raskaita polttoöljyjä sekä kevyitä polttoöljyjä (MDO). Pesurivaihtoehtoja oli kolme: avoimen ja suljetun kierron pesuri sekä "kuivapesuri". Erityyppisten pesureiden välillä havaittiin vain vähän eroa energiankulutuksen ja kasvihuonepäästöjen osalta. Tutkimuksessa tultiin lopputulokseen, että raskaiden polttoöljyjen kanssa käytettävällä pesurijärjestelmällä on mahdollisuus vähentää SOX-päästöjä alhaisemmalla energiankulutuksella ja kasvihuonekaasupäästöillä kuin siirtymällä vähärikkisten polttoaineiden tuotantoon jalostamoilla. (Ma ym. 2012, 306–308)

Brynolf ym. (2014, 7) vertailivat tutkimuksessaan raskaan polttoöljyn käyttöä yhdistettynä SCR:llä ja avoimen kierron pesurilla, MGO:ta yhdistettynä SCR:llä sekä LNG:tä. Kumpikaan vaihtoehtoista (MGO tai LNG) ei tuottanut merkittävää vähennystä GWP:hen verrattuna raskaaseen polttoöljyyn. Tutkimuksessa korostettiin, että on myös tarve rajoittaa ammoniakkivuotoja SCR:stä ja metaanivuotoja LNG-moottoreista ympäristövaikutusten vähentämiseksi. (Brynolf ym. 2014, 12–16)

Gilbertin ym. (2018, 855) vertailun kohteena olivat LNG, metanoli, nestemäinen vety (LH<sub>2</sub>), biodiesel, suora kasviöljy (SVO) ja bio-LNG. Tutkimuksessa havaittiin, ettei tällä

hetkellä ole vaihtoehtoa, jolla voitaisiin yhtä aikaa vähentää merkittävästi sekä paikallisia päästöjä että kasvihuonekaasupäästöjä. LNG:llä voidaan täyttää nykyiset rajoitukset, mutta sen kasvihuonekaasupäästöt eivät ole alhaiset. Biopolttoaineissa on potentiaalia, mutta niiden ongelmana ovat maankäytön muutokset ja muut valmistuksen aikaiset päästöt. Vedyn ja muiden synteettisten polttoaineiden soveltuvuus taas riippuu hyvin paljon tuotantoprosessin vähähiilisuudesta joko sähköntuotannon hiilineutraaliuden tai lähtöaineiden uusiutuvuuden kautta. (Gilbert ym. 2018, 860–865)

WTW-analyysin perusteella Lindstad ym. (2020, 8-15) toteavat, että LNG lisää kasvihuonekaasupäästöjä verrattuna nykyisiin dieselvaihtoehtoihin. Lisäksi heidän tutkimuksensa perusteella kasvihuonekaasupäästöjen vähennys pesurilla on jopa 2–4 prosenttia verrattuna MGO:n, jos oletetaan, että raskas polttoöljy on peräisin tavanomaisista öljynjalostamoista. Siten heidän tutkimuksensa tukevat aiempia havaintoja pesureiden käytön eduista (Ma ym. 2012, 306–308) sekä LNG:n haasteista vähentää kasvihuonekaasupäästöjä (Brynolf ym. 2014, 12–16 ja Gilbert ym. 2018, 860–865). LNG:tä on usein pidetty kokonaisvaltaisena ratkaisuna päästöongelmiin, sillä sen hiukkas-,  $\text{SO}_x$ - ja  $\text{NO}_x$ -päästöt ovat alhaiset.

Kirjallisuustarkastelun perusteella todetaan tarpeelliseksi keskittyä nimenomaan eri vaihtoehtojen WTW-analyysiin. Siinä otetaan huomioon polttoaineen valmistuksesta ja käytön ajalta syntyvät päästöt, jotka muodostavat pääosan laivan elinkaaren aikaisista päästöistä. Useilla menetelmillä voidaan kyllä saavuttaa  $\text{SO}_x$ - ja  $\text{NO}_x$ -rajoitukset, mutta kasvihuonekaasupäästöjen vähentämisen osalta tilanne ei ole kovin selvä. Uusia polttoaineratkaisuja on myös tulossa (kuten metanoli), mutta tarvitaan myös välivaiheen ratkaisuja, joilla  $\text{CO}_2$ -päästövähennyksiä voidaan toteuttaa nopealla aikataululla. Näin IMO:n tavoitteet saada meriliikenteen  $\text{CO}_2$ -päästöjä (per kuljetustyö) vähennettyä 40 prosenttia vuoteen 2030 mennessä olisivat realistisia saavuttaa (IMO resolution MEPC.304(72) 2018).

Mielenkiintoiseksi kysymykseksi nousee esimerkiksi LNG:n vaikutus kasvihuonekaasupäästöihin verrattuna muihin vaihtoehtoihin. LNG:n osalta myös metaanivuotojen on syytä olla tarkastelussa mukana, sillä ne aiheuttavat suurta epävarmuutta tuloksiin. Lisäksi kasvihuonekaasupäästöjen kannalta edullisimman rikkidioksidin vähentämismenetelmän todentamiselle on tarvetta, sillä yhteisymmärrystä ei ole vielä saavutettu siitä, onko keskitetty ratkaisu (ts. rikin vähentäminen jalostamolla) vai hajautettu ratkaisu (pesurit laivoilla) parempi.

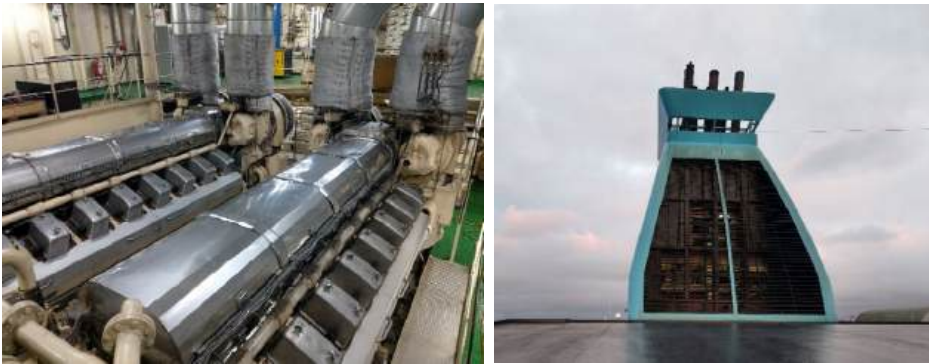
## **VUOSIKYMMENTEN PÄÄSTÖMITTAUSOSAAMISTA LAIVOILLA**

MEPTEK-hankkeessa suoritetaan päästömittauksia laivoilla, jotta saadaan todellista mitausdataa eli niin kutsuttua ensikäden tietoa elinkaari- ja Bayes-analyysityökalujen käyttöön. Ensimmäiset mittausarjat oli tarkoitus suorittaa kesällä 2020 ja seuraavat 2021, mutta

vallitseva koronatilanne on vaikeuttanut mittaussuunnitelmien toteuttamista eivätkä mitaukset kesällä 2020 toteutuneet.

KymiLabs-tutkimuspalveluyksikössä on tehty laivojen päästömittauksia jo vuosikymmeniä. Laboratorio on FINAS-akkreditointipalvelun hyväksymä akkreditoitu päästömittaustestauslaboratorio (SFS-EN ISO/IEC 17025 -standardi, testauslaboratorio T197), jolla on valtuudet myöntää sertifoituja päästömittaustodistuksia osoituksena muun muassa viranomaismääräysten täyttämistä. Laboratorion mittalaitteilla voidaan tehdä monien muiden päästökemien lisäksi myös ammoniakkimittauksia, joita voidaan tarvita esimerkiksi todentamaan typpioksidien poistomenetelmiä.

KymiLabs on ollut mukana TKI-hanketoiminnassa aktiivisesti, ja laboratorio on lisäksi osallistunut useisiin merkittäviin kansainvälisiin hankkeisiin, kuten Mobile, Snoop (Shipping-induced NO<sub>x</sub> and SO<sub>x</sub> emissions – Operational Monitoring Network) ja BSR Innoship projects. Viimeisimpänä päättymässä oleva COMPLETE-hanke on toteutettu Metsä-, ympäristö- ja energia- sekä Logistiikka ja merenkulku -vahvuusalojen yhteistyönä osana kansainvälistä hankekonsortiota. Hanke on rahoitettu Interreg-ohjelmasta ja on saanut EU:n lippulaivastatuksen. COMPLETE-hankkeen tuotoksista ja kokemuksista on suoraa hyötyä myös nykyisen hankkeen toteuttamisessa.



**KUVA 1.** Päästömittaukset laivalla (kuva Mikko Nykänen).

Päästömittaukset toteutetaan noin kymmenessä aluksessa aluksen ollessa normaalissa operoinnissa. Mittausten ajalta tallennetaan aluksen operoinnin kulkudata sekä alueella vallitsevat sääolosuhteet. Mitattavia komponentteja ovat NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub>, hiukkaset, hiilivedyt, CO<sub>2</sub>, CO ja CH<sub>4</sub>, ja mittauksessa käytetään joko IR-absorptiota, kemiluminenssiä, FTIR:ää tai gravimetristä menetelmää. Aluskohtainen kulkudata tallennetaan mahdollisuuksien mukaan aluksen omien järjestelmien kautta. Alustyyppistä riippuen näitä ovat muun muassa syväys, trimmi, polttoaineen kulutus, moottoreiden kuormitus, potkureiden pyörimisnopeus ja

potkureille määrätty nousut. Lisäksi tallennetaan toimintaympäristön data. Joissain alustyypeissä myös aluksen sääasema on kytketty järjestelmän sisäiseen tietoverkkoon, jolloin tuuliosuhteet ovat tallennettavissa suhteellisen helposti. Muussa tapauksessa vallitsevat sääolosuhteet virtaus- ja aaltomalleineen ovat saatavilla rannikkovaltioiden ilmatieteen laitosten sääasemien tuottamana.

## YHTEENVETO

Meriliikenteen päästövähennystekniikoita on olemassa useita erilaisia vaihtoehtoja. Näitä ovat muun muassa erilaiset polttoainevaihtoehdot, pakokaasujen puhdistamiseen keskittyvät menetelmät tai moottoritekniset ratkaisut. Vaihtoehtoja vertaillaan todentamalla mittausten avulla päästöjä sekä tekemällä tuloksista big data -analyysiä ja elinkaarianalyysijä. Hankkeen avulla pyritään tuottamaan objektiivista tietoa eri menetelmien pitkän aikavälin tehokkuudesta, ympäristövaikutuksista ja kustannuksista niin päätöksentekijöille kuin varustamoille. Myös tulevaisuudessa todennäköinen meriliikenteen kasvihuonekaasupäästöjen sääntelyn vaikutus pitäisi pystyä ottamaan huomioon vaihtoehtoja vertailtaessa, eikä kaikkea huomiota tulisi kiinnittää ainoastaan nykyisten SO<sub>x</sub>- ja NO<sub>x</sub>-sääntelyn puitteissa toimimiseen.



## LÄHTEET

Bengtsson, S., Andersson, K. & Fridell, E. 2011. Life cycle assessment of marine fuels. A comparative study of four fossil fuels for marine propulsion. ISSN 1652-9189 Report No. 11:125. Gothenburg, Sweden, 2011, 37–44.

Brynolf, S., Magnusson, M., Fridell, E. & Andersson, K. 2014. Compliance possibilities for the future ECA regulations through the use of abatement technologies or change of fuels. *Transportation Research Part D* 28, 6–18.

Chatzinikolaou, S. D. & Ventikos, N. P. 2015. Holistic framework for studying ship air emissions in a life cycle perspective. *Ocean Engineering* 110, 113–122.

Gilbert, P., Walsh, C., Traut, M., Kesieme, U., Pazouki, K. & Murphy, A. 2018. Assessment of full life-cycle air emissions of alternative shipping fuels. *Journal of Cleaner Production* 172, 855–866.

Initial IMO strategy on reduction of GHG emissions from ships. 2018. IMO resolution MEPC.304(72) (adopted on 13 April 2018).

Jalkanen, J.-P. & Johansson, L. 2019. Emissions from Baltic Sea shipping in 2006 – 2018. Maritime Working Group Lisbon, Portugal, 23-26 September 2019.

Jeong, B., Wang, H., Oguz, E. & Zhou, P. 2018. An effective framework for life cycle and cost assessment for marine vessels aiming to select optimal propulsion systems. *Journal of Cleaner Production* 187, 111–130.

Lindstad, E. & Riialand, A. 2020. LNG and Cruise Ships, an Easy Way to Fulfil Regulations – Versus the Need for Reducing GHG Emissions. *Sustainability* 12, 2080.

Ma, H., Steernberg, K., Riera-Palou, X. & Tait, N. 2012. Well-to-wake energy and greenhouse gas analysis of SOX abatement options for the marine industry. *Transportation Research Part D* 17, 301–308.

Savikko, H., Hokkanen, J., Koutonen, H. & Haanpää, E. 2019. Hiilineutraali Kymenlaakso 2040 Kasvihuonekaasupäästöt, hiilinielut ja tiekarttaluonnos vuoteen 2040. Raportti versio 1.0. 2.9.2019. Espoo: Ramboll.

Solakivi, T., Laari, S., Kiiski, T., Töyli, J. & Ojala, L. 2019. How shipowners have adapted to sulphur regulations – Evidence from Finnish seaborne trade. *Case Studies on Transport Policy* 7, 338–345.

Third IMO GHG Study 2014 Executive Summary and report. 2015. International Maritime Organisation, 1-2.

