



METSÄ, YMPÄRISTÖ JA ENERGIA

Soveltavaa tutkimusta ja tuotekehitystä

Vuosijulkaisu 2019

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



Kaakkois-Suomen
ammattikorkeakoulu

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

METSÄ, YMPÄRISTÖ JA ENERGIA

Soveltavaa tutkimusta ja tuotekehitystä

Vuosijulkaisu 2019



Vipuvoimaa
EU:lta
2014–2020



XAMK KEHITTÄÄ 101

KAAKKOIS-SUOMEN AMMATTIKORKEAKOULU
MIKKELI 2019

© Tekijät ja Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu

Kannen kuva: Aki Mykkänen

Taitto ja paino: Grano Oy

ISBN: 978-952-344-225-2 (nid.)

ISBN: 978-952-344-226-9 (PDF)

ISSN: 2489-2467 (nid.)

ISSN: 2489-3102 (verkkójulkaisu)

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 2019 Metsä, ympäristö ja energia – soveltavaa tutkimusta ja tuotekehitystä -julkaisuun on koottu Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulun Metsä, ympäristö ja energia -vahvuusalan tutkimus- ja kehittämistoimintaa kuvaavia artikkeleita. Alueiden vahvuuksiin ja tulevaisuuden mahdollisuuksiin keskittyvä soveltava tutkimus- ja kehitystoiminta edistää Etelä-Savon ja Kymenlaakson keskeisten toimialojen aluekehitystä antamalla uutta tietoa.

Yksi tämän artikkeliteoksen toimittajista työskentelee Älykäs ja kansainvälinen Etelä-Savo – Mikroista kasvua (MikroX) -hankkeessa. Tätä hanketta rahoittaa Etelä-Savon maakuntaliitto Euroopan aluekehitysrahaston varoin. Toinen toimittaja työskentelee Xamkin Kuitulaboratoriossa, ja kolmas on Metsä, ympäristö ja energia -vahvuusalan tutkimusjohtaja. Tekijät kiittävät hankkeiden ja opinnäytetöiden rahoittajia ja yhteistyökumppaneita yhteisen tutkimus- ja kehitystoiminnan mahdollistamisesta.

Mikkelissä 20.12.2019

Tekijät

TEKIJÄT

KATJA AHOLA, DI, lehtori

Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu, Rakennustekniikka

ELIAS ALTARRIBA, TkL, TKI-asiantuntija

Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu, Logistiikka ja merenkulku

VY DO, Bachelor of engineering student

Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu

SANNI EERIKÄINEN, TkK, projektipäällikkö

Finnish Water Forum

ANDREI ERK, Head of the laboratory

Institute for Engineering and Environmental Problems in Agricultural Production, branch of Federal State Budgetary Scientific Institution “Federal Scientific Agri engineering Centre VIM”

ANNE GANGO, DI, projektipäällikkö

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

JONNE GRÅSTEN, FM, kehityspäällikkö

Metsäsairila Oy

KIMMO HAAPEA, KTM, kehityspäällikkö

Mikkelin kehitysytö Miksei Oy

NOORA HAATANEN, DI, projektipäällikkö

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

ESA HANNUS, insinööri (AMK), TKI-asiantuntija

Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu, Digitaalinen talous

TARJA HATAKKA, FM, geologi

Geologian tutkimuskeskus

JUSSI HEINIMÖ, TkT, ohjelmajohtaja

Mikkelin kehitysytö Miksei Oy

AKI HEINONEN, DI, projektipäällikkö

Metsäsairila Oy

TOPI HELLE, TkT, toimitusjohtaja

Finnish Water Forum

YRJÖ HILTUNEN, FT, tutkimuspäällikkö

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

MIKKO HOKKANEN, DI, projektipäällikkö

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

HARRI HUHTA, MMM, erityisasiantuntija

Luonnonvarakeskus (Luke)

LASSE HÄMÄLÄINEN, insinööri (AMK), tutkimusinsinööri

Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu

MIIKA HÄMÄLÄINEN, tutkimusapulainen

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

SARI HÄMÄLÄINEN, insinööri (AMK), kehitysinsinööri

Mikkelin kaupunki

JAANA JARVA, FT, erikoistutkija

Geologian tutkimuskeskus

JOONAS KAHILUOTO, kemian- ja prosessitekniikan DI, tutkija

Suomen ympäristökeskus, Metrologia (MLAB)

PIIA KAIRENIUS, MMM, tutkija

Luonnonvarakeskus, Tuotantojärjestelmät

MARI KALLIOINEN, TkT, dosentti, membraanitekniikan tutkijaopettaja

Lappeenrannan-Lahden teknillinen yliopisto

TATU KAUPPI, FM, projektitutkija

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

ESA KOHVAKKA, insinööri (AMK), projektipäällikkö

Etelä-Savon ammattiopisto Esedu

KATI KONTINEN, MML, johtaja asiantuntija
Tapio Oy

JUSSI KONTTILA, insinööri (AMK) opiskelija
Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu

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

TUIJA KORPELA, DI, tutkimusinsinööri
Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu, Metsä, ympäristö ja energia -vahvuusala

ALEKSI KUITUNEN, insinööri (AMK) opiskelija
Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu

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

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

PAULIINA KUUKKA, metsätalousinsinööri (AMK), insinööri (AMK), projektiasiantuntija
Mikkelin Toimintakeskus ry

HENRI KÄRKKÄINEN, insinööri (AMK) opiskelija
Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu

KARI KÄRKKÄINEN, DI, projektipäällikkö
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

NIINA LAURILA, insinööri (AMK), projektipäällikkö
Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu, Metsä, ympäristö ja energia -vahvuusala

MARJATTA LEHESVAARA, FM, lehtori
Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu, Metsätalouden ja ympäristötekniikan koulutusyksikkö

ARTTU LEHTINEN, insinööri AMK, kehitysinsinööri

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

PETRI LEIRIVIRTA, Metsätalousteknikko, projektin vastuuhenkilö

Ammattiopisto SAMIedu

PAULI LINNA, insinööri (AMK) opiskelija

Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu

ILKKA LOHILAHTI, insinööri (AMK) opiskelija

Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu

JUHA LUOSTARINEN, FM, asiantuntija

Metener Oy

VUOKKO MALK, FM, projektipäällikkö

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

MARINA MARKOVA, insinööri (AMK) opiskelija

Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu

MAIJA MASSINEN, DI, projektitutkija

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

AKI MYKKÄNEN, insinööri AMK, projektipäällikkö

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

SINIKKA MYNTTINEN, MMT, asiantuntija

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

PÄIVI MÄNTYSAARI, MMT, erikoistutkija

Luonnonvarakeskus, Tuotantojärjestelmät

SAMI MÖRSKY, FT, tutkimusinsinööri

Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu

KRISTIINA NUOTTIMÄKI, FM, geologi

Geologian tutkimuskeskus

ELINA NURMI, MMM, tutkija

Luonnonvarakeskus (Luke)

SEPPO PAAVILAINEN, insinööri, toimitusjohtaja

Tassu ESP Oy

JUHANA PAKKASMAA, DI, TKI-asiantuntija

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

ANTTI PAPPINEN, insinööri (AMK), projektitutkija

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

KARI PELTONEN, DI, T&K johtaja MC-teknologiat

Andritz Oy

JUHO PEURA, insinööri (AMK), projektipäällikkö

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

TARU POTINKARA, DI, lehtori

Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu, Sähkö-, talo- ja materiaalitekniikan koulutusyksikkö

SANNA POUTAMO, MMM, ympäristöpäällikkö

Etelä-Savon maakuntaliitto

LASSE PULKKINEN, FT, tutkimusjohtaja

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

MIKKO PULKKINEN, insinööri (AMK), tuntiopettaja

Etelä-Savon ammattiopisto Esedu

SALLA PULLIAINEN, insinööri (AMK), projektipäällikkö

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

TIMO PYHÄLAHTI, DI, erikoissuunnittelija

Suomen ympäristökeskus (SYKE), Tietokeskus (SYKE/TK) / Paikkatieto- ja kaukokartoitusjärjestelmät (TPJ)

SIRPA RAHIALA, TkT, TKI-asiantuntija

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

JUHO RAJALA, FT, lehtori

Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu, Metsätalouden ja ympäristötekniikan koulutusyksikkö

TUIJA RANTA-KORHONEN, FM, insinööri (AMK), TKI-asiantuntija
Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu, Metsä, ympäristö ja energia -vahvuusala

JENNA RAUNIO, DI, projektitutkija
Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu, Metsä, ympäristö ja energia -vahvuusala

EVELIINA REPO, TkT, apulaisprofessori
Lappeenrannan-Lahden teknillinen yliopisto

MARKETTA RINNE, MMT, tutkimusprofessori
Luonnonvarakeskus, Tuotantojärjestelmät

VILLE RÄTY, insinööri, kiertotalouden asiantuntija,
Kouvola Innovation Oy

TIINA SAARIO, DI, projektipäällikkö
Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu, Metsä, ympäristö ja energia -vahvuusala

HANNU SARVELAINEN, DI, lehtori
Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu, Metsä, ympäristö ja energia -vahvuusala

OUTI SAVONEN, MMM, jatko-opiskelija
Helsingin yliopisto, Maatalous-metsätieteellinen tiedekunta / Luonnonvarakeskus, tuotantojärjestelmät

SARI SEPPÄLÄINEN, insinööri (AMK), laboratorioinsinööri
Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu

MARKKU SILTANEN, ympäristötekniikan insinööriopiskelija (AMK)
Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu

HANNE SOININEN, TkT, tutkuspäällikkö
Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu, Metsä, ympäristö ja energia -vahvuusala

JUHA SOLIO, BioSampo laitospäällikkö
Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu, Metsä, ympäristö ja energia -vahvuusala

TOMASZ STEFANSKI, MMM, tutkija
Luonnonvarakeskus, Tuotantojärjestelmät

IGOR SUBBOTIN, M.Eng., Researcher

Institute for Engineering and Environmental Problems in Agricultural Production, branch of Federal State Budgetary Scientific Institution “Federal Scientific Agri engineering Centre VIM”

HEIKKI TEITTINEN, hallituksen puheenjohtaja

Juvan Bioson Oy

TOMMI TENHOLA, MMM, ympäristötalouden asiantuntija

Tapio Oy

TIINA TERVANIEMI, KTM, B.Eng, hankepäällikkö

Etelä-Savon ammattiopisto Esedu

PHONG TRUONG, bachelor of engineering

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

HANNU TURUNEN, DI, projektipäällikkö

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

IRINA UZHINOVA, Design Manager

Institute for Engineering and Environmental Problems in Agricultural Production, branch of Federal State Budgetary Scientific Institution “Federal Scientific Agri engineering Centre VIM”

ILKKA VANTTAJA, DI, TKI-asiantuntija

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

JUHA VIHAVAINEN, insinööri (AMK), tutkimusinsinööri

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

TERO VÄISÄNEN, TkT, kehittämispäällikkö

Suomen ympäristökeskus, Laboratoriokeskus

MARKO ÄMMÄLÄ, metsätalousinsinööri (AMK), yrityspalveluiden asiantuntija

Suomen metsäkeskus

SISÄLLYS

LUKIJALLE	3
TEKIJÄT	4
SISÄLLYS	11
ÄLYKÄSTÄ ERIKOISTUMISTA ALUEEN HYÖDYKSI	15
Lasse Pulkkinen & Hanne Soininen	
JATKUVATOIMISET MITTAUKSET TUOTTAVAT UUTTA TIETOA	19
Niina Laurila & Joonas Kahiluoto & Tero Väisänen & Sanni Eerikäinen & Topi Helle & Hanne Soininen	
KONENÄÖN HYÖDYNTÄMINEN KANSALAISHAVAINNOISSA	23
Miika Hämäläinen & Timo Pyhälähti	
JALOSTETUT JÄTEVEDET JA LIETTEET BIO- JA KIERTOTALOUDEN RAAKA-AINEVIRROIKSI	28
Salla Pulliainen & Hanne Soininen & Mari Kallioinen	
HIILTOPROSESSIN LÄMPÖILOJEN VAIKUTUS MIKROMUOVIE POISTUMISEEN JÄTEVESILIETTEESTÄ	31
Jussi Konttila & Salla Pulliainen & Sari Seppäläinen	
HARVINAISTEN MAAMETALLIEN TALTEENOTTO VAIHTOEHTOISISTA RAAKA-AINEISTA	40
Eveliina Repo & Kari Laine & Tuija Ranta-Korhonen & Tiina Saario & Hanne Soininen	
RAJOJA YLITTÄVÄÄ YHTEISTYÖTÄ PUHTAIDEN VESISTÖJEN SÄILYTTÄMISEKSI	45
Vuokko Malk & Hanne Soininen & Jaana Jarva & Kristiina Nuottimäki & Tarja Hatakka	
HULEVESIEN HALLINTAA UUDELLA T&K-YMPÄRISTÖLLÄ	48
Aki Mykkänen & Hanne Soininen & Jussi Heinimö & Sari Hämäläinen	
PUHTAAMPAA VETTÄ BIOHIILELLÄ - SUODATUSTEHON TUTKIMINEN PILOTTIKOHITEISSA	52
Aki Mykkänen & Lasse Hämäläinen	
EKOTOKSISUUSTESTEILLÄ VARMISTETAAN BIOHIILEN TURVALLINEN KÄYTTÖ	60
Vuokko Malk & Vy Do	
DEMONSTRAATIOKOKKEET TÄYSMITTAKAAVAN LAITOKSELLA JA SEKOITUSMENETELMÄT	67
Tiina Saario & Hanne Soininen & Sami Mörsky & Juha Luostarinen	
BIOKAASULAITOKSEN MONITOROINTIA KEHITTÄMÄSSÄ	76
Tiina Saario & Yrjö Hiltunen & Hanne Soininen	

BIOKAASULAITOSTEN MONITOROINTI SUOMESSA JA ULKOMAILLA	83
Tiina Saario & Sami Mörsky	
BIOKAASULAITOKSEN KUORMITUKSEN SEURANTA	
ALKALITEETIN JA FOS/TAC-ARVON KAUTTA.....	90
Tiina Saario & Phong Truong & Marjatta Lehesvaara & Sami Mörsky	
ESIKÄSITTELYN JA SEKOITUKSEN VAIKUTUS KAASUNTUOTANTOON	
-CASE - PANOSKOKEET.....	96
Tiina Saario & Heikki Teittinen & Jonne Gråsten & Aki Heinonen	
KANSAINVÄLISTÄ YHTEISTYÖTÄ YMPÄRISTÖN TILAN PARANTAMISEKSI	102
Tuija Ranta-Korhonen & Hanne Soininen & Harri Huhta & Elina Nurmi	
RUSSIAN-FINNISH BIOECONOMY COMPETENCE CENTRE	
- BIOCUM PROJECT KICK-OFF EVENT IN MIKKELI.....	107
Tuija Ranta-Korhonen & Igor Subbotin & Andrei Erk & Hanne Soininen	
BIOCUM PROJECT: BIOECONOMY PROMOTION IN BORDER RURAL AREAS....	111
Andrei Erk & Igor Subbotin & Irina Uzhinova & Tuija Ranta-Korhonen & Hanne Soininen	
UUSIA MENETELMIÄ PÄÄSTÖJEN HALLINTAAN	115
Niina Laurila & Hanne Soininen	
ENERGIANTUOTANNOSSA SYNTYVIEN KAASUMAISTEN PÄÄSTÖJEN JA	
HIUKKASTEN VÄHENTÄMISEN RATKAISUT.....	118
Salla Pulliainen & Niina Laurila & Seppo Paavilainen	
PUHTAAMMAT POLTTOPROSESSIT BIOMATERIAALEILLA	127
Juha Vihavainen & Niina Laurila	
TUHKASTA VASTUULLISTA LIIKETOIMINTAA	134
Tommi Tenhola & Kati Kontinen & Marko Ämmälä & Hanne Soininen & Riina Tuominen	
KAUKOKARTOITUS YMPÄRISTÖN MONITOROINNISSA.....	139
Ilkka Lohilahti & Esa Hannus & Aki Mykkänen & Riina Tuominen	
PASSIIVINEN NÄYTTEENOTTO POHJAVEDEN TUTKIMUKSESSA.....	147
Marina Markova & Aki Mykkänen & Marjatta Lehesvaara & Riina Tuominen	
KLOORIFENOLIN ANALYSOINTI PASSIIVISEN NÄYTTEENOTON JÄLKEEN ...	155
Marjatta Lehesvaara & Aki Mykkänen & Riina Tuominen	
UUTTA TYÖTÄ JA OSAAMISTA KIERTOTALOUDESTA	162
Salla Pulliainen & Esa Kohvakka & Pauliina Kuukka & Hanne Soininen & Tiina Tervaniemi	
KIERTOTALOUSTIETOUTTA KOKO YHTEISKUNTAAN.....	165
Salla Pulliainen & Pauliina Kuukka & Esa Kohvakka	
HIEKOITUSHIEKAN KORVAAMINEN SUOLALLA KYLLÄSTETYLLÄ	
JÄTEPUUMURSKALLA	170
Lasse Hämäläinen & Hannu Turunen	

TUOTTAVUUTTA JA TYÖHYVINVOINTIA YHTEISKEHITTÄMISEN KEINOIN PUUHUOLTOALALLE.....	176
Sinikka Mynttinen & Petri Leirivirta & Mikko Pulkkinen	
PALOSUOJAUKSELLA UUTTA LIKETOIMINTAA LÄMPÖPUUKLUSTERILLE	183
Juho Peura	
ETELÄ-SAVON MATKAILUN HIILIJALANJÄLKILASKENTA	193
Riina Tuominen & Sanna Poutamo	
KIERTOTALOUDEN EDISTÄMINEN TUOTANNOLLISISSA PK-YRITYKSISSÄ... 198	
Mikko Hokkanen & Kimmo Haapea	
PUUSTA MAITOA? MIKROKITEINEN SELLULOOSA ENSIKERTAA LYPSYLEHMIEN REHUNA.....	203
Outi Savonen & Piia Kairenius & Päivi Mäntysaari & Tomasz Stefanski & Juhana Pakkasmaa & Marketta Rinne	
ULTRASUODATUS JA -PROSESSIN JATKUVATOIMINEN MONITOROINTI	213
Kari Kärkkäinen & Tatu Kauppi & Arttu Lehtinen	
HEMISELLULOOSAN KUUMAVESIUUTTO KUITULABORATORION LAITTEISTOILLA	223
Tatu Kauppi & Kari Kärkkäinen	
3D-TULOSTUKSEN KEHITTÄMISYMPÄRISTÖ 3K-TEHTAALLE	230
Ilkka Vanttaja & Tatu Kauppi	
ELINKAARIMALLINTAMINEN – PÄÄTÖKSENTEON TUEKSI	237
Maija Massinen	
NESTEKROMATOGRAFIA UUDEN TUTKIMUKSEN MAHDOLLISTAJANA XAMKISSA.....	245
Jenna Raunio & Noora Haatanen	
VAAHDONESTOAIINEEN VAIKUTUS ILMAPITOISUUTEEN JA HAPPIVAIHEEN PESUREIDEN TOIMINTAAN SELLUTEHTAAN KUITULINJALLA.....	250
Riku Kopra & Jari Käyhkö	
KUPLAKOKO JA SEN MERKITYS HAPPIDELIGNIFIIOINNISSA	255
Jari Käyhkö & Riku Kopra & Kari Peltonen	
MARK-REAKTORIN MODIFIOINTI KAASUMAISTEN KEMIKAALIEN DISPERGOITUMISEN SEKÄ TEHOKKUUDEN MÄÄRITTÄMISEEN	263
Antti Pappinen & Jari Käyhkö	
WEDGE-JÄRJESTELMÄN KÄYTTÖÖNOTTO SEKÄ SOVELTAMINEN KUITULABORATORION TUTKIMUSTYÖSSÄ	274
Kari Kärkkäinen & Jari Käyhkö	
RAKENNUSTYÖMAILLA TAVOITTEENA NOLLA TAPATURMAA – SAFECON-HANKKEEN ENSIMMÄISEN VUODEN TULOKSIA SUOMESTA... 283	
Taru Potinkara & Noora Haatanen	

PURKU- JA HUKKAPALOJEN HYÖDYNTÄMINEN RAKENTAMISESSA, CLT-HUKKAPALOJEN LUOMAT MAHDOLLISUUDET	290
Katja Ahola & Ville Rätty	
ENERGIATEHOKKUUDEN PARANTAMINEN TARPEEN MUKAISEN ILMAN- VAIHDON AVULLA AKTIIVI- JA VAJAAKÄYTTÖISISSÄ RAKENNUKSISSA SISÄILMANLAATU HUOMIOIDEN	298
Erja Tuliniemi & Hannu Sarvelainen & Tuija Korpela & Maunu Kuosa	
BIOLENTOTUHKAN HIENONNUSKOKEET BIO- JA KIERTOTALOUDEN TUTKIMUSKESKUKSESSA BIOSAMMOSSA	305
Eveliina Kuokkanen & Anne Gango	
COMPLETE-HANKKEESSA SELVITETÄÄN LAIVOJEN POHJIEN LIKAANTUMISEN VAIKUTUSTA KULKUVASTUKSEEN	310
Elias Altarriba	
BIOPILOTIT – TUTKIMUSINFRASTRUKTUURIN VAHVISTAMISTA KYMENLAAKSOSSA.....	318
Sirpa Rahiala & Kirsi Tallinen & Juha Solio	
SAVUKAASULAUHTEEN LAATU HOVISAAREN VOIMALAITOKSEN (KOTKAN ENERGIA OY) UUDELLA VESILAITOKSELLE.....	324
Henri Kärkkäinen & Markku Siltanen & Pauli Linna & Alekski Kuitunen & Juho Rajala	

ÄLYKÄSTÄ ERIKOISTUMISTA ALUEEN HYÖDYKSI

Lasse Pulkkinen & Hanne Soininen

Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulun Metsä, ympäristö ja energia -vahvuusalan TKI-toiminta on vuonna 2019 ollut ennätysellisen aktiivista. Tässä vuosijulkaisussa on esillä osa ajankohtaisista soveltavan tutkimuksen projekteista, joita Kymenlaakson ja Etelä-Savon innovaatioverkostoissa on Kaakkois-Suomen ammattikorkeakouluvetoisesti toteutettu. Alueellisen vaikuttavuuden lisäksi hanketoiminta on laajennut kansalliseksi yhteistyössä muiden tutkimuslaitosten kanssa. Esimerkiksi Luonnonvarakeskuksen ja Aalto-yliopiston kemian tekniikan korkeakoulun kanssa on käynnissä metsäsektorin hankkeita, joista osan tuloksia on tässä julkaisussa esillä.

Vuoden 2019 aikana olemme onnistuneet saamaan merkittäviä rahoituspäätöksiä vahvuuslallemme myös Horizon 2020 -ohjelmasta. Kaupunkien kiertotalouden haasteita ratkovan CityLoops - Closing the loop for urban material flows -hankkeen (kuva 1) (hanketta rahoittaa European Union's Horizon2020 research and innovation programme under grant agreement No. 821033) sekä biojalostamoprosesseja kehittävän IMPRESS - Integration of efficient downstream ProcessEs for Sugars and Sugar alcohols -hankkeen (hanketta rahoittaa European Union's Horizon2020 research and innovation programme under grant agreement No. 869993) tuloksista voimme kertoa vasta tulevissa julkaisuissa. Osaamis pohja näille kansainvälisen tason hankkeille on kuitenkin tehty alueellisen kehittämisen parissa.



KUVA 1. Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoululla on yhdessä Mikkelin kaupungin ja Mikkelin kehitysyritys Miksei Oy:n kanssa käynnissä CityLoops-hanke (kuva Manu Eloaho).

BIO-, VESI- JA KIERTOTALOUDEN EDELLÄKÄVIJÖITÄ

Vahvuusosalalla käynnissä olevat tutkimusprojektit liittyvät ajankohtaisiin aiheisiin luonnonvarojen älykkään hyödyntämisen, energia- ja ympäristötehokkuuden ja kiertotalouden sektoreilla. TKI-työtä tehdään korkeakoulussamme tutkimustiimeissä ja tutkimusyksiköissä. Yksiköiden koko, sovellettavat toimialat, metodiikka sekä yritysverkostojen laajuus vaihtelevat, mutta yhteisenä piirteenä on käytännön ratkaisujen hakeminen uuden tiedon, testaamisen ja yritysysteistyön avulla. TKI-toiminnan painotukset ja profilit vaihtelevat myös maakunnittain ja kaupungeittain, mikä osaltaan kuvastaa Xamkin TKI-toiminnan mukautumista alueellisen erikoistumisen tarpeisiin ja alueella toimivien osaamisklustereiden sekä yritysten erityispiirteisiin.

Metsä, ympäristö ja energia -vahvuusalan projektit liittyvät tavalla tai toisella myös laajempien kestävä talouden kehityksen haasteiden ratkaisemiseen kansallisella ja jopa kansainvälisellä tasolla. Esimerkiksi kiertotalouden kasvavat haasteet ovat vahvasti mukana Xamkin soveltavassa tutkimuksessa ja kehitystoiminnassa. Kiertotalouden ratkaisujen kehittäminen nivoutuu vahvaan osaamiseemme puututkimuksen, vesi- ja energiatutkimuksen, rakentamisen sekä kuitu- ja prosessiteknikoiden aloilla.

Sovelluslähtöisten innovaatioprojektien lisäksi esitellään projekteja, jotka vahvistavat alueen kannalta tärkeää tutkimusinfrastruktuuria. Esimerkiksi opetusministeriön rahoittamaan lippulaivahankkeeseen on sitoutunut tutkimusyksiköitä kaikista Xamkin kaupungeista Mikkelistä, Kouvolasta, Kotkasta ja Savonlinnasta. Kehitystyötä tehdään niin laboratorioissa, tehdasympäristöissä kuin hyödyntäen erilaisia paikallisia ja alueellisia kehitysympäristöjä. Ketterät kokeilut, alueelliset demonstroitinnit ja tehdasdemonstroitinnit luovat hyvän pohjan ratkaisujen käyttöönotolle ja alueen elinvoimaisuuden kehittämiseksi hyödyntäen tietoa, osaamista ja uusia teknologioita.

YMPÄRISTÖTURVALLISUUTTA EDISTÄMÄSSÄ MIKKELISSÄ

Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulun tutkimus-, kehittämis- ja opetustoiminnan keskiössä on ympäristöturvallisuuden parantaminen. Tämä tarkoittaa käytännössä luonnonvarojen kestävä käyttöä, puhtaan elinympäristön turvaamista ja yritystoiminnan kehittämistä ympäristöystävällisemmäksi. Soveltavalla ympäristöturvallisuuden tutkimuksella luomme uusia ratkaisuja ja käytänteitä yritysten ja muiden sidosryhmien tarpeisiin. Näin voimme muun muassa ehkäistä ilmastonmuutosta ja vesistöjen pilaantumista, vähentää neitseellisten luonnonvarojen käyttöä ja kehittää uusia liiketoimintamalleja yrityksille. Vaikutamme myös ihmisten arkeen ja asenteisiin.

Vuosijulkaisussa on esillä Mikkelin ympäristöturvallisuuden alan artikkeleita, jotka esittelevät Etelä-Savonkin kannalta tärkeän biokaasusektorin tuotantoratkaisujen kehittämismahdollisuuksia, ympäristön ja erityisesti vesien tilan monitorointiratkaisuja. Lisäksi artikkeleissa tarkastellaan energia- ja metsäteollisuuden sivuvirtojen hyödyntämistä ja vahvimmin niissä keskitytään biohiilen ja erilaisten tuhkalaatujen hyötykäytön edistämiseen.

Mikkelissä Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu on järjestänyt ympäristöterveyden opetusta 40 vuotta ja ympäristöturvallisuuteen liittyvää TKI-toimintaa yli 20 vuotta. Vuosien saatossa Xamkin ympäristöturvallisuuden tutkimusryhmästä on kasvanut bio-, vesi- ja kiertotalouden teknologiaratkaisujen, alan älykkäiden monitorointijärjestelmien ja ympäristöturvallisuusriskien hallintaan liittyvän kehitystyön vahva osaaja.

Paikalliset alan suuren mittakaavan ekosysteemihankkeet sekä vahva kansainvälinen yhteistyö antavat erinomaisen pohjan monipuoliselle ja käytännönläheiselle uusien ratkaisujen kehittämiseksi, testaamiseksi ja tutkimustoiminnalle.

PUUSTA ON MONEKSI – XAMK AKTIIVINEN ALAN TUTKIMUSTOIMINNASSA

Puun kilpailukyvyyn ja uusien innovatiivisten käyttökohteiden edistämisen tukeminen soveltavalla tutkimustiedolla on tärkeässä asemassa Xamkin TKI-toiminnassa. Vuonna 2019 on tuotettu konkreettisia tuloksia muun muassa lämpöpuun palonsuojarakaisujen tutkimuksen sektorilla yhteistyössä laajan yritysverkoston kanssa. Lisäksi käsitellään CLT-teollisuuden sivuvirtojen sekä rakennuspuujätteen hyödyntämistä. Palonsuojauksen uusien ratkaisujen testaaminen lämpöpuuklusterin yritysten kanssa on hyvä esimerkki niistä ajankohtaisista mahdollisuuksista, joita puumateriaalitutkimuksen alalla on olemassa.

Xamkin vahvaa metsäsektorin osaamista esittelee puunhankintaketjujen johtamisen haasteisiin ja hyviin käytäntöihin keskittyvä katsaus. Artikkelissa yhdistyvät alan eturivin opetuksen, yritys yhteistyön sekä kehittämistoiminnan näkökulmat metsäisen Etelä-Savon tärkeän elinkeinohaaran edistämiseen.

KIERTOTALOUDEN RATKAISUJA JA VAHVISTUVAA TUTKIMUSINFRAA KYMENLAAKSOON

Kymenlaaksossa Xamkin teollisuusyhteistyö ja TKI-toiminnan edellytykset ovat kehittyneet ja syventyneet vuonna 2019 energiatehokkuuden, metsä- ja energiateollisuuden sivuvirtojen hyödyntämisen sekä polttoprosessien ympäristövaikutusten hallinnan sektoreilla. Xamk on vahvistanut myös Kymenlaakson erikoistunutta tutkimusinfrastruktuuria energiatekniikan ja erikoistuneiden biotalousratkaisujen aloilla. Näistä uusia mahdollisuuksia luovista kehitystyoimenpiteistä kerrotaan myös julkaisussa. Alan kehitystoiminta nivoutuu hyvin myös alueen metsä-, meri- ja energiaosaamisen ja yritysklustereiden erityispiirteisiin.

BIOTUOTE- JA KUITUTEKNIIKAN TEKNOLOGIAT UUDISTUVAT

Uudistuvat kuituprosessit ja -tuotteet on Xamkin vahva TKI-kärki. TKI-toiminnassa on otettu käyttöön ja sovellettu uusia mittaus- ja tiedon analysointimenetelmiä ja syvennetty kaasujen käyttäytymisen hallintaa ja ilmiötason tutkimusta sellutehdas-biojalostamon happivalkaisussa. GasOpti-projektissa on rinnalla myös biokaasulaitoksen soveltavan tutkimuksen työpakettikokonaisuus. Business Finland -yhteistyö ja laaja-alaisuus ovat hankkeessa toteutuneet Xamkin näkökulmasta uudella mielenkiintoisella tavalla, kun kaksi tutkimusryhmää on tehnyt työtä samantyyppisten ilmiöiden parissa. Sovellukset ovat kuitenkin olleet erilaisia lopputuotteiden ja raaka-aineiden osalta.

Aaltocell™-pilotointiyhteistyötä Xamkin ja Aalto-yliopiston kemian tekniikan korkeakoulun kanssa on tehty vuodesta 2017 alkaen. Vuosijulkaisussa esitellään mielenkiintoisia mikrokiteisen selluloosan käyttökokeita lehmien rehun lisäaineena. Projektissa ylitettiin merkittävällä tavalla maatalouden ja metsäsektorin tutkimuksen välisiä toimialarajoja.

Biokasvu-hanke edustaa rahoitustyyppiltään ja sisällöltään uuden tyyppistä kehittämistoimintaa Kuitulaboratorion näkökulmasta. Hankkeella on laajennettu osaamista kiertotalouden ja elinkaaren hallintaan sekä käynnistetty kokonaan uutta yrityslähtöistä kehittämistoimintaa biomateriaalien ja ainetta lisäävän valmistuksen lähtökohdista. Teollisen internetin osaamisen ja kehitysalustojen osalta hanke on vahvistanut merkittävästi osaamista ja infrastruktuuria. Hanke mahdollistaakin jatkossa Xamkin Biotuotetekniikan insinööriopiskelijoiden perehdyttämisen alan korkean teknologian käyttösovelluksiin.

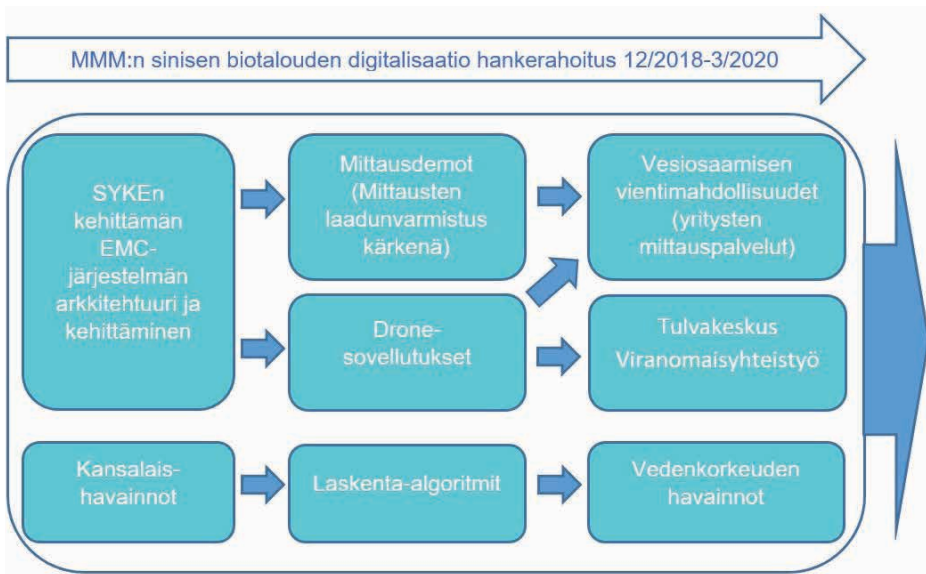
JATKUVATOIMISET MITTAUKSET TUOTTAVAT UUTTA TIETOA

Niina Laurila & Joonas Kahiluoto & Tero Väisänen & Sanni Eerikäinen & Topi Helle & Hanne Soininen

Vesivarojen ja ylipäättään ympäristön mittaus on kehittynyt lähivuosina huimasti. Paikan päällä tehtävillä jatkuvatoimisilla mittauksilla saavutetaan ylivertainen ajallinen kattavuus verrattuna perinteiseen näytteenottoon. Tämä mahdollistaa aiempaa kokonaisvaltaisemman ja tarkemman kuvan myös ympäristön hetkellisistä ilmiöistä. Eri kaukokartoitusalueille, kuten drooneille, sijoitetuilla mittalaitteilla voidaan helposti seurata eri parametreja suuril-takin alueilta sovelluskohteen kannalta riittävällä tarkkuudella. Teknologioiden kehittyessä myös laitteiston ja kerätyn datan käyttötavat muuttuvat. Jotta uusia teknologioita voidaan luotettavasti hyödyntää eri sovelluksissa, tarvitaan yhteisiä standardeja ja yleisesti hyväk-syttyjä tapoja varmistaa mittausten laatu.

UUSIA RATKAISUJA ERI TOIMIJOIDEN VÄLISELLÄ YHTEISTYÖLLÄ

Maa- ja metsätalousministeriön rahoittamassa ”Vesivarojen mittausten ja havainnoinnin digitalisaatio – Uusien mittausteknologioiden älykäs hallinta” -hankkeessa (Vemidi) edis-tetään uusien ympäristömittauksiin liittyvien teknologioiden käyttöönottoa. Vemidi-hanke on osa hallituksen sinisen biotalouden kärkihanketta. Hankkeen puitteissa demonstroidaan eri teknologioita uusissa sovelluskohteissa eri toimijoiden yhteistyönä. Tavoitteena on ottaa käyttöön uusia ratkaisuja, joilla on myös kansainvälistä markkinapotentiaalia. Hankkeen toteuttajat edustavat hyvin erilaisia osaamisalueita: Suomen ympäristökeskus SYKE on val-tion tutkimuslaitos, Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu Xamk on vahvasti tutkimus- ja kehittämistyöhön panostava korkeakoulu ja Suomen vesifoorumi (Finnish Water Forum, FWF) taas vienninedistämistä tekevä vesialan toimijoiden yhdistys. Teknologiademojen ja vienninedistämisen kautta hankkeessa on mukana myös toimialan yrityksiä. Hankkeen toimenpiteet on esitetty kuvassa 1.



KUVA 1. Vemidi-hankkeen toimenpiteet.

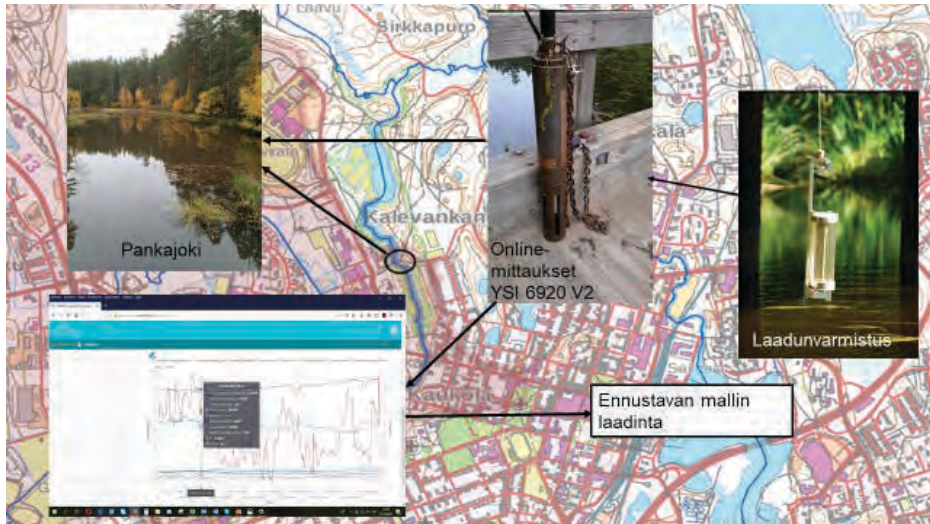
LAADUNVARMISTUS TAKAA ONNISTUNEEN SOVELLUTUKSEN

Hankkeen ensimmäinen demonstraatio järjestettiin ”Jatkuvatoimisten mittausten laadunvarmistus” -seminaarin yhteydessä toukokuussa. Seminaarissa esiteltiin luotettavan kenttämittauksen eri osa-alueita ja SYKE:n kehittämää EnviCal Manager -alustaa (ECM) mittausten epävarmuuden määrittämiseen. Veden sameuden jatkuvatoimista mittauksista demonstroitettiin Optoseven Oy:n kehittämällä nesteanalysaattorilla, jonka mittausdatan laatua seurattiin ECM-alustalla. Hankkeen puitteissa järjestettiin myös hulevesien jatkuvatoimisen mittauksen demo Mikkelissä, jossa esiteltiin lisäksi droneilla tapahtuvaa ympäristömonitorointia. Tapahtumassa mukana olleet EHP Environment Oy ja Meritaito Oy esittelivät osallistujille ratkaisujaan mittaustoimialalla. Demonstraatio järjestettiin vesistökuunnostusverkoston vuosiseminaarin yhteydessä 4.6.2019.

VESISTÖN ONLINE-MITTAUSDEMONSTRAATIO

Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulun tehtävänä on hulevesidemonstraatiolla tuottaa laatuvarmistettua tietoa hulevesien vaikutuksista Mikkelin alapuolisessa vesistössä sekä laatia mitatusta online-datasta ennustava malli. Demonstraation toteutus aloitettiin toukokuussa 2019 Pankajoella. Pankajoki kuuluu 7-nimiseen jokeen, joka kulkee useamman kaupunginosan halki päättyen Saimaaseen. Pankajoen veden laatu on tärkeää Mikkelille, sillä Pankajoki sijaitsee Mikkelin pohjavedenottoalueella.

Online-mittaukset tuotetaan YSI 6920-V2 -sondilla (kuva 2), jossa mitattavina muuttujina ovat lämpötila, pH, johtokyky, sameus, happipitoisuus sekä redox-potentiaali. Laitteiston tuottamaa mittausdataa todennetaan viikoittain perinteisen vesinäytteenoton ja laboratorioanalytiikan avulla. Seurannassa hyödynnetään Jatkuva laatu -hankkeen oppeja (Suomen ympäristökeskuksen raportteja 4/2019). Tuotetusta sameusdatasta laaditaan ennustettava malli. Laitteiston mittauksia voidaan seurata lähes reaaliaikaisena Kolibri cloud -sovelluksen avulla. Tämän ilmaisen nettisovelluksen tarjoaa Keller, jonka GSM 2:ta käytetään YSI-sondissa sekä dataloggerina että lähettimenä.



KUVA 2. Xamkin hulevesidemonstratio (kuva Niina Laurila).

VIELÄ ON TÖITÄ JÄLJELLÄ

Tutkimuksessa käytettyjen teknologioiden yhdisteleminen ja tuominen operatiiviseen käyttöön vaatii vielä paljon työtä. Kansainvälisten standardien puuttuessa mittauksen laatu tulee osoittaa muilla mahdollisimman yleisesti hyväksytyillä keinoilla. Laadunvarmistus edistää osaltaan myös ratkaisujen hyödyntämistä kansainvälisillä markkinoilla. Isoin este uuden osaamisen viennissä on usein riittävien referenssien saaminen kotimarkkinoilla. Ympäristömonitorointitekniikan ja -osaamisen vientiä voidaan merkittävästi tukea edistämällä uusien ratkaisujen pilotointia ja käyttöönottoa Suomessa.

LÄHTEET

Tattari, S. & Tarvainen, M. & Kallio, K. & Lepistö, A. & Näykki, T. & Raateoja, M. & Seppälä, J. 2019. Laatukäsikirja jatkuvatoimisille veden laadun mittauksille. Suomen ympäristökeskuksen raportteja 4/2019. ISBN 978-952-11-4828-6 (nid.) ISBN 978-952-11-4829-3 (PDF) ISSN 1796-1718 (pain.) ISSN 1796-1726 (verkkoy.) https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/299105/SYKEra_4_2019.pdf?sequence=1&isAllowed=y.

KONENÄÖN HYÖDYNTÄMINEN KANSALAISHAVAINNOISSA

Miika Hämäläinen & Timo Pyhälähti

Vemidi – Vesivarojen mittausten ja havainnoinnin digitalisaatio – Uusien mittausteknologioiden älykäs hallinta -hankkeessa tavoitteena on toteuttaa ja demonstroida uusia teknologioita integroidussa ympäristömonitorointijärjestelmässä hyödyntäen kansalaisten ja muiden toimijoiden tuottamaa tietoa. Rajapinnat mahdollistavat digitaalisten järjestelmien kytkennät, ja datan analysoinnissa käytetään kehittyneitä laskentamenetelmiä sekä koneoppimista. Maa- ja metsätalousministeriön rahoittamaa hanketta toteuttavat Suomen ympäristökeskus, Finnish Water Forum ja Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu. Vemidi-hanke on osa hallituksen sinisen biotalouden kärkihanketta.

KANSALAISHAVAINNOT

Kansalaishavainnoinnilla tarkoitetaan vapaaehtoisvoimin tapahtuvaa tiedonkeruuta. Havainnon lähettämisellä ei ole edellytyksiä, joten havainnot voi lähettää kuka tahansa. Tietoja käytetään viranomaisten keräämien tietojen täydentämiseen ja tarkentamiseen.

SYKE (Suomen ympäristökeskus) kerää kansalaishavainnot CitobsDB-tietokantaansa widgeteiksi kutsutuilla verkkosivuille upotettavilla kyselyillä. Widgetin määrittelemillä tiedoilla verkkosivulla esitetään aiheelle määritellyn kysymyspatterin kysymyslomake kartan avulla täytettäväksi ja havaitun ilmiön oikeaan sijaintiin paikannettavaksi. Kuka tahansa voi lisätä kyselyn tai avoimen tiedon havainnot esittävän karttanäkymän verkkosivulleen, mutta tulosten kirjaamiseksi CitobsDB-tietokantaan tarvitaan API-avain. Jokaiseen havaintoiheeseen liittyy useampi kerättävä tieto, kuten mittausaika, paikkatieto ja mittausulos.

Verkkosivuille upotettavat kyselyt ovat luotavissa SYKEN sivuilla siten, että kaikkiin havaintoon liittyviin tietoihin on oma kysymyksensä. Käytetyssä SYKEN CitobsDB-kansalaishavaintopalvelussa kysymyspatterit määritellään SYKE-rajapintapalveluun kaikille tietoja kerääville joukkoistamisjärjestelmille samalla tavalla esitettäväksi. Käytännössä havaitsijan ei tarvitse täyttää koko kyselyä, vaan kyselyn ylläpitäjä pyrkii automatisoimaan mahdollisimman monen tietokentän täyttämisen.

Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulun toimesta on kehitteillä sovellus, joka yhdistää vedenkorkeuden kansalaishavaintokyselyn konenäköön. Mittauspisteiltä käyttäjä ohjat-

taisiin QR-koodilla Vemidi.fi-sivuston kyselyyn. Kyselyssä ilmoittajan on otettava kuva mittatikusta sekä annettava oma arvionsa vedenkorkeudesta.

Rajapintaan lähetetään seuraavat tiedot: mittauspaikka, aseman tasokorjaus, ilmoittajan antama lukema sellaisenaan sekä tasokorjattuna, havaitusijatunnus, konenäkötulokset, tapahtuman tyyppi tehtäessä muutoksia mitta-asteikkoon, vapaa lisätietokenttä sekä linkki kuvaan. Kuvatiedosto on tarkoitus tallentaa vemidi.fi-palvelimelle. Mittauspaikan tiedot, tasokorjaus, tapahtuman tyyppi ja konenäön tulokset täytetään automaattisesti. Kyselyn lähettäessään ilmoittaja luopuu tietyistä tekijänoikeuksista kuvaansa ja ilmoitusdataansa CC0-lisenssin mukaisesti.

PINNANKORKEUDEN MITTATIKKU

Mittatikussa käytetään tarraa (kuva 1), jossa vuorottelevat 1 cm korkeat magentan ja keltaisen väriset ruudut. Magenta ja keltainen ovat valikoituneet tähän, koska ne ovat vastavärejä, joita esiintyy mahdollisimman vähän tyyppillisessä mittausympäristössä.



KUVA 1. Mittatikon 1. prototyyppi Urpolanlammella (kuva Tero Jankko).

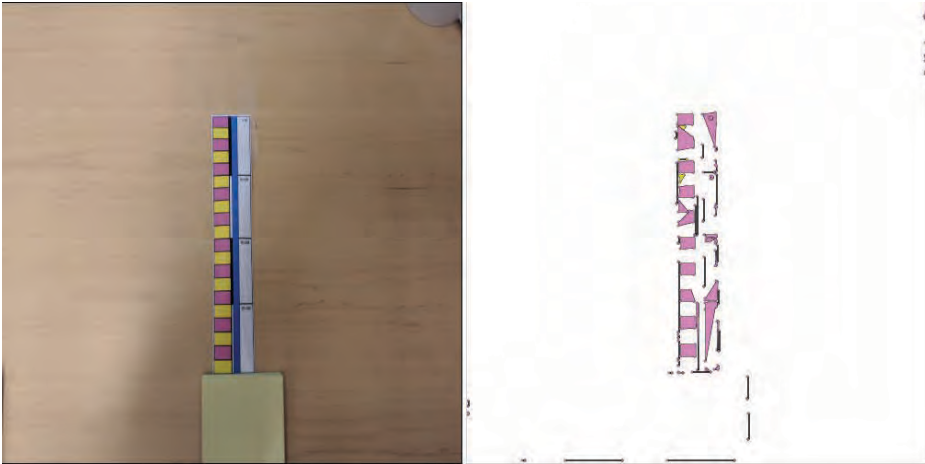
PINNANKORKEUDEN MITTAAMINEN KUVASTA

Automaattista mittaustulosta varten kuvasta pyritään tunnistamaan nämä ruudut (kuva 2). Tähän työkaluksi on valikoitunut Javascript-pohjainen esineentunnistuskirjasto pixfinder. Pixfinder etsii kuvasta annettua väriä vastaavat pikselit ja luo läheisistä väreistä yhtenäisiä muotoja annettujen parametrien perusteella. Tärkeimmät säädettävät parametrit ovat itse värit, *tolerance*, *clearNoise* ja *distance*. Haettavat värit poimitaan testikuvista RGB-heksadesimaalimuodossa, ja punaisen, vihreän ja sinisen arvot ovat väliltä 0–255. Näissä arvoissa voi olla paljon hajontaa jopa yksittäisen ruudun sisällä, ja vaihtelevat kuvaolosuhteet aiheuttavat myös paljon hajontaa. Kuvassa 2 on poimittu seuraavat magentan RGB-arvot: (144, 86, 127), (180, 146, 183), (225, 123, 209).



KUVA 2. Zoomattuja kuvia eri ympäristöistä ja etäisyyksiltä (kuva Miika Hämäläinen).

Tolerancella voidaan säätää jokaisen päävärin sallittua poikkeamaa. Se olisi syytä pitää pienenä virrehavaintojen todennäköisyyden minimoimiseksi mutta riittävän korkeana tunnistamaan jokaisen ruudun yhtenäiseksi väriksi. Vaihtoehtona tämän arvon liialliselle korottamiselle on lisätä etsittäviin väreihin useita todennäköisesti esiintyviä sävyjä ja pitää *tolerance* matalalla (kuva 3).



KUVA 3. Liian korkean tolerance-arvon tulos (kuva Miika Hämäläinen).

Pieniä virrehavaintoja voidaan poistaa *clearNoise*-arvoa nostamalla. Sillä määritellään muotojen pienin sallittu koko. Liian korkea *clearNoise* saattaa poistaa pienenä näkyvät ruudut kaukaa otetuista kuvista, ja liian pieni *clearNoise* lisää virrehavaintojen riskiä varsinkin varjoisilla alueilla.

Distance vaikuttaa muodon pisteiden väliseen maksimietäisyyteen. Jos arvo on liian matala ja *tolerance* ei ole riittävä, yksittäiset ruudut voidaan tunnistaa useammaksi pienemmäksi muodoksi. Liian korkea arvo voi yhdistää useamman ruudun yhdeksi suureksi muodoksi.

Kuvaolosuhteiden ollessa ennalta-arvaamattomia parametrit on arvottava annetulta väliltä ja ruutujen tunnistusta on toistettava, kunnes tulos on looginen tai virhemarginaalin sallima. Parametrien välejä voi selvittää erilaisissa ympäristöissä otetuilla kuvilla, mutta oikeat välit eivät takaa nopeaa tai tarkkaa tunnistusta. Virrehavaintojen minimoimiseksi ja korkeamman *tolerance*- ja matalamman *clearNoise*-arvon sallimiseksi kuvasta voidaan poistaa tausta. Tätä varten konenäköprosessiin otetaan käyttöön OpenCV-kirjaston javascript-versio ja sen GrabCut-algoritmi. GrabCut edellyttää mittatikun sijoittamista ennalta määritellyn alueen sisälle, joka tässä tapauksessa saa olla kuvan suorakulmainen alue kuvan keskiosassa. Alueen sisällä oleva kohde tunnistetaan etualaksi ja tausta poistetaan.



KUVA 4. Grabcut-algoritmilla käsitelty kuva (kuva Tero Jankko).

Optimaalisessa tilanteessa mittatikku eristetään taustasta kuvan mukaisesti (kuva 4). Vaikka onnistunut taustan erotus lisääkin huomattavasti tulkintojen tarkkuutta, epäonnistuneen taustanerotuksen yhdistäminen korkeisiin tolerance-arvoihin vastaavasti huonontaa tarkkuutta. Erotuksen onnistumiseen vaikuttavat muun muassa tikun ja taustan kontrasti sekä tikun sijainti kuvassa.

JATKOKEHITYS

Kun käyttöliittymän toiminnallisuus on saatu halutulle tasolle, voidaan aloittaa sivun toimivuuden testaus API-avaimen kanssa. Jos tieto siirtyy oikeassa muodossa, seuraava työvaihe on NodeJS-palvelinsovelluksen kehitys. Palvelinohjelmaa tarvitaan muun muassa kuvien tallentamiseen ja niiden tarkastelun käyttöoikeuksien hallintaan. Kerätyn datan eheyttä sekä todenmukaisuutta voidaan myöskin parantaa, jos lähetettävä data tarkistetaan ja lähetetään rajapintaan palvelimen kautta. Palvelinohjelman avulla voidaan helpottaa osoitepalkin kautta syötettävien parametrien kirjoittamista ja lukemista.

JALOSTETUT JÄTEVEDET JA LIETTEET BIO- JA KIERTOTALOUDEN RAAKA-AINEVIRROIKSI

Salla Pulliainen & Hanne Soininen & 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 ja Kospirt Oy.

JÄTEVESIEN JA LIETTEIDEN UUDET INNOVATIIVISET KÄSITTELYTEKNIIKAT

Jäteveden puhdistusprosessissa syntyvien lietemäärien jatkuva kasvu ja lietteitä koskevan ympäristölainsäädännön tiukentuminen luovat tarpeen lietteen uusille käsittelyvaihtoehdoille ja jälkikäyttömahdollisuuksille. Yhdyskuntien jätevedenpuhdistamoissa syntyvää lietettä koskee valtioneuvoston asetus 331/2013, joka kieltää lähes kokonaan biohajoavan ja muun orgaanisen jätteen sijoittamisen kaatopaikoille. Bio- ja energiatalouden kehittämiseen kohdennetut vaatimukset sekä osaltaan lietteen kaatopaikkasijoituksen kohonneet kustannukset lisäävät kiinnostusta lietteen hyödyntämistä nostamiseen osana kiertotaloutta. Kiertovirrat-hankkeessa etsitään lietteen jalostuksen ratkaisuja, jotka eivät pohjautu kemialliseen saostamiseen tai polymeerien lisäämiseen.

Jätevesilietteiden jatkokäyttöön on kehitetty useita uusia käsittely- ja hyödyntämiskonsepteja; kompostoinnin ja mädätyksen sijaan liete voidaan esimerkiksi jalostaa polttoaineeksi energiantuotantoon termisen kuivauksen, tuotepellettien polttamisen tai biokuivauksen avulla. Eri tekniikoilla tehtävän lietteen kuivauksen avulla voidaan parantaa lietteen poltto-ominaisuuksia. Lisäksi kuivatus tekee lietteen käsittelystä helpompaa vähentämällä esimerkiksi lietteen painoa. Kuivauksella voidaan myös keskeyttää lietteessä käynnissä oleva biologinen toiminta, mikä on tärkeää ravinteiden säilymisen ja lannoitekäytön kannalta. Soveltuvien ja kilpailukykyisten tekniikka lietteen käsittelylle on tapauskohtainen, ja siihen vaikuttavat lietteen laatu ja määrä.

Lietteiden poltto tai pyrolysointi termisen kuivauksen jälkeen tai ilman sitä on suosittu tekniikka Keski-Euroopassa. Polttoprosessissa lietteestä poistuu typpi, mutta lietteen sisältämä fosfori jää tuhkaan. Tuhkassa fosfori on helposti liukenevassa muodossa ja välittömästi kasvien käytettävissä, mikä tekee siitä sopivan lannoitetuotteen esimerkiksi metsälannoitteeksi. Fosfori voidaan myös erottaa tuhkasta, jolloin sitä voidaan käyttää edelleen lannoitevalmisteiden raaka-aineena.

Jätevesilietteen biokuivauksessa orgaaninen materiaali hajoaa aerobisissa olosuhteissa, mikä nostaa kuivattavan lietteen lämpötilaa 50–70 °C. Prosessissa syntyvä lämpö haihduttaa edelleen lietteen sisältämää vettä, jolloin lietteen kuiva-ainepitoisuus nousee. Kuivauksen jälkeen liete voidaan edelleen polttaa tai hyödyntää muilla tavoin.

JÄTEVESILIETTEIDEN JÄLJITETTÄVYYDELLÄ LISÄÄ LIKETOIMINTAA

Jätevesilietteiden ja niistä tuotteistettujen materiaalien laatuominaisuuksien tunteminen ja jäljitettävyys auttavat uusien ja paikallisten tuotteiden kehittämisessä ja jalostamisessa kiertotalousmarkkinoille. Toimiva komponenttien ja materiaalien jäljitettävyysjärjestelmä parantaa materiaalien kiertoa ja hyötykäyttömahdollisuuksia.

Digitaaliset ratkaisut ovat myös edellytys skaalautuville liiketoimintamalleille ja palveluille. Niiden kautta saavutetaan kustannustehokkuutta sekä parempaa tiedolla johtamista ja riskienhallintaa. On oleellista, että ratkaisuja kehitetään yhdessä teknologia- ja ympäristöalan toimijoiden sekä yrityskentän kesken.

Kiertovirrat-hankkeen tutkimuksella haetaan ratkaisuja näiden globaalien, kansallisten ja alueellisten tarpeiden ratkaisemiseen. Tarkoituksena on löytää monistettavissa olevia ratkaisuja yritysten liiketoiminnan tehostamiseen ja tehdä uusia avauksia sekundääristen materiaalivirtojen jäljitettävyyteen kansallisesti ja kansainvälisesti.

YHTEISHANKKEELLA KEHITETÄÄN JÄTEVESIPROSESSISTA 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)
- lietevirroista uusia tuoteaihoita kiertotalouteen (Xamk)
- tulosten jalkauttaminen ja raportointi (Xamk ja LUT).

TULOKSENA JÄTEVESIEN KESTÄVÄMPÄÄ KÄSITTELYÄ

Tutkimalla erilaisia vaihtoehtoisia tekniikoita lietteen hyödyntämiseksi osana bio- ja kiertotaloutta saadaan tehostettua jätevesiprosessin ravinteiden talteenottoa sekä optimoitua puhdistusprosessia haitta-aineiden ja mikromuovien poiston osalta. Jätevesilietteiden ja niistä tuotettujen materiaalien laatuominaisuuksien tunteminen ja jäljitettävyys parantavat materiaalien hyötykäyttöä.

Kiertovirrat-hankkeessa tutkittavat uudet jätevesien ja lietteiden käsittelyvaihtoehdot sekä materiaalien jäljitettävyysratkaisut tukevat kiertotalouden mukaista materiaalivirtojen palauttamista materiaalikiertoon (kuva 1).

Biomassojen viisaalla hyödyntämisellä saadaan käyttöön raaka-aineet, ravinteet sekä energia, ja samalla vesistökuormitus ja haitalliset ympäristövaikutukset vähenevät. Hankkeessa luodaan mahdollisuuksia uudentlaiselle jätevesi-, biotuote-, energia- ja it-alan liiketoiminnalle.



KUVA 1. Kiertovirrat-hankkeessa tehdään yhteistyötä Mikkelin vesilaitoksen ja yritysten kanssa (kuva Manu Eloaho).

HIILTOPROSESSIN LÄMPÖ- TILOJEN VAIKUTUS MIKRO- MUOVIENTUOTOJEN POISTUMISEEN JÄTEVESILIIETTEESTÄ

Jussi Konttila & Salla Pulliainen & Sari Seppäläinen

Vaatimukset hyödyntää yhdyskuntajätevesilietteitä kiertotalouden raaka-aineena asettavat lietteelle käyttötarkoituksensa mukaisia laatuvaatimuksia. Lietteiden hyödyntäminen lannoitteena tai maanparannusaineena vaatii kustannustehokkaan käsittelytavan lisäksi tutkittua tietoa lietteiden turvallisuudesta sen sisältämien mikromuovien osalta. Uusilla jätevedenpuhdistustekniikoilla, kuten MBR-menetelmällä, jäteveden sisältämät mikromuovit saadaan kerättyä lietteeseen lähes kokonaan. Lietteiden sisältämien ravinnearvojen hyödyntämiseksi ja haitallisten ympäristövaikutusten vähentämiseksi lietteiden sisältämä mikromuovi tulisi poistaa kierrosta.

Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulun ja LUT-yliopiston yhteishankkeessa ”Kiertovirrat – Jalostetut jätevedet ja lietteet bio- ja kiertotalouden raaka-ainevirroiksi” tutkitaan biohiiliprosessin vaikutusta mikromuovien poistumiseen yhdyskuntajätevesilietteestä. Hanketta rahoittaa Etelä-Savon ELY-keskus Euroopan aluekehitysrahastosta, Mikkelin Vesiliikelaitos ja Aquazone Oy. Hankkeen toteutuksessa ovat mukana myös Operon Group Oy ja Kospirt Oy.

MIKROMUOVIT JÄTEVEDESSÄ

Ympäristössämme olevaan mikromuovien määrään ja sen ympäristövaikutuksiin on alettu viime aikoina kiinnittämään enemmän huomiota. Mikromuovit ovat alle 5 mm:n kokoisia muovihiukkasia, jotka ovat tarkoituksella valmistettuja tai muodostuneet muovituotteiden hajotessa (SYKE 2017). Useimmiten mikromuovit on valmistettu polyeteenistä, polypropeenista ja muista polymeereistä (Carr ym. 2016).

Jätevesien sisältämä mikromuovi pystytään nyky menetelmillä keräämään lietteeseen lähes kokonaan, jolloin mikromuovi pienimpiä partikkelikokoja lukuun ottamatta ei enää päädy puhdistettujen jätevesien mukana vesistöihin. Jätevesilietteeseen kerääntynyt mikromuovi rajoittaa kuitenkin lietteiden hyötykäyttöä, ja mikromuovien poistamiseen lietteestä tuleeekin löytää kustannustehokkaita keinoja. (SYKE 2017) Yksi jätevesilietteiden käyttömahdollisuus

on kuivatun lietteen hiiltäminen biohiileksi ja siten käyttö maanparannusaineena. Mikro-muovin käyttäytymistä hiiltoprosessissa ei tunneta, joten Kiertovirrat-hankkeessa selvitetään hiiltämisen vaikutusta mikro-muovin poistumiseen jätevesilietteestä eri hiilto- lämpötiloissa. Tavoitteena ensimmäisessä koejärjestelyssä oli kartoittaa alin lämpötila, jossa mikro-muovit poistuisivat lietteestä.

Vaikka muovia kierrätetään nykyään yhä enemmän, iso osa muovia päätyy edelleen ympäris- töön. Tutkimusten mukaan yhtenä mikro-muovien reittinä vesistöihin toimivat jätevedenkä- sittelylaitokset. Vaikka nykyiset jätevedenpuhdistamot poistavat mikro-muovia tehokkaasti, ne ovat silti merkittävä vesistöjen mikro-muovin lähde suuren puhdistetun jäteveden määrän vuoksi (Talvitie ym. 2017b). Mikro-muovia päätyy maaperään muun muassa jätevesilietteen hyötykäytön yhteydessä maanparannuksessa, lannoittamisen ja viherrakentamisen yhtey- dessä sekä liikenteen ja ilmakehän saastumisen vuoksi (He ym. 2018).

Mikro-muovien vaikutuksia ympäristöön ei ole vielä kattavasti tutkittu, mutta niillä tiede- tään olevan useita haitallisia mekanismeja, jotka vaikuttavat maaperään, vesistöön ja eliöihin. Vedessä mikro-muoviin voi kiinnittyä haitallisia kemikaaleja, ja toisaalta niiden sisältämät lisäaineet, kuten pehmentimet tai pintakäsittelyaineet, voivat olla ympäristön kannalta riski. (SYKE 2017.) Ympäristöön päästyään mikro-muovit voivat absorboida muun muassa pysyviä orgaanisia yhdisteitä (POP-yhdisteitä), raskasmetalleja sekä muita toksisia aineita, jotka voivat aiheuttaa muun muassa immuunivasteen heikentymistä, lisääntymisvaikeuksia, solunsisäisiä tulehduksia ja syöpää (Wang ym. 2019, Guzzetti ym. 2018).

JÄTEVESILIETTEEN KÄSITTELY BIOHIILIPROSESSILLA

Biohiileksi kutsutaan biomassasta pyrolyysillä valmistettua hiiltä. Pyrolyysissa biomassaa hiilletään korkeassa lämpötilassa hapettomissa olosuhteissa, jolloin palaminen on epätäy- dellistä. Pyrolyysin lopputuotteena muodostuu kaasuja ja nesteitä sekä kiinteää tuotetta, biohiiltä. Biohiili voidaan jakaa muodostumisensa perusteella primääriseen ja sekundääriseen biohiileen; kiinteän biomassan jäänteinä syntyy primääristä biohiiltä ja orgaanisten höy- ryjen koksina sekundääristä biohiiltä. Lisäksi pyrolyysi voidaan jakaa prosessissa käytetyn reaktiolämpötilan ja höyryn viipymääjan mukaan hidasperäiseen ja nopeaan pyrolyysiin. (Sauvola 2018)

Biohiilen ominaisuuksiin, kuten huokoskokoon ja energiasältöön, voidaan vaikuttaa raa- ka-ainevalinnoilla, lisäaineilla ja pyrolyysin olosuhteilla, ja tuotteen käyttötarkoitus ratkaisee- kin biohiileltä vaadittavat ominaisuudet. Biohiiltä käytetään pääasiassa maanparannukseen ja suodatukseseen, jossa se käyttötarkoituksesta riippuen esimerkiksi sitoo maaperään kosteutta ja ravinteita tai suodattaa vedestä tai ilmasta epäpuhtauksia. Biohiili toimii myös tehokkaana hiilensitोजना, ja uusia käyttökohteita kartoitetaan ja tutkitaan jatkuvasti nykyisten käyttö- kohteiden lisäksi maatalous- ja kaupunkiympäristöistä. (Suomen biohiiliyhdistys)

Tutkimusten mukaan yhdyskuntajätevesilietteen pyrolyysiprosessi on edullista toteuttaa keskiuurissa ja suurissa käsittelylaitoksissa. Arvion mukaan suurin osa (> 95 %) käytetyistä muoveista hajoaa < 450 °C:n lämpötiloissa (Suomen Vesilaitosyhdistys 2019). Tarkoituksenmukaisin lämpötila-alue prosessille on 450–650 °C noin 15–30 minuutin viipymäajalla, jolloin saadaan parhaat tulokset niin orgaanisten haitta-aineiden, lääkeaineiden kuin muovienkin hajoamisessa ja poistumisessa. Mikromuovien poistuminen lietteestä on kuitenkin vain arvio, sillä analyysimenetelmiä jätevesilietteestä pyrolysoidun biohiilen sisältämään mikromuovin määrään ei ole saatavilla. Arvio perustuukin tietoon mikromuovin hajoamiseen vaadittavasta lämpötilasta. (Suomen Vesilaitosyhdistys 2019)

ESISELVITYKSEN TUTKIMUSMENETELMÄT

Aineistona käytettiin Mikkelin Kenkäveronniemen jätevedenpuhdistamolla toimivan MBR-pilottilaitoksen MBR-lietettä sekä aktiivilietettä. Lietteistä määritettiin kuiva-ainepitoisuus ja hehkutusjäännös SFS 3008 -standardin mukaisesti. Yhtenä menetelmän osana käytettiin aikaisemmassa mikromuovitutkimuksessa käytettyä tiheyserotusmenetelmää (Karjalainen 2019).

Jotta biohiiliprosessin vaikutusta mikromuovien poistumiseen lietteestä voitiin tarkastella, tuli selvittää jätevesilietenäytteen sisältämät mikromuovipitoisuudet sekä käsittelemättömästä että hiilletystä lietteestä. Jätevesilietteen käsittelymenetelmänä käytettiin tiheyserotusmenetelmää, jossa näytteen tiheyttä kasvatettiin suolalla ja kylläisellä suolaliuoksella. Suolaliuos valmistettiin jodiodusta ruokasuolasta, ja 358,9 grammaa suolaa sekoitettiin litraan puhdasta vettä. Käytetty suolaliuos suodatettiin huokoskooltaan 10 µm nailonverkon (Merck Millipore Ltd.) lävitse. Nollanäytteenä työssä käytettiin 200 ml suodatettua suolaliuosta nailonverkolle konsentroituna.

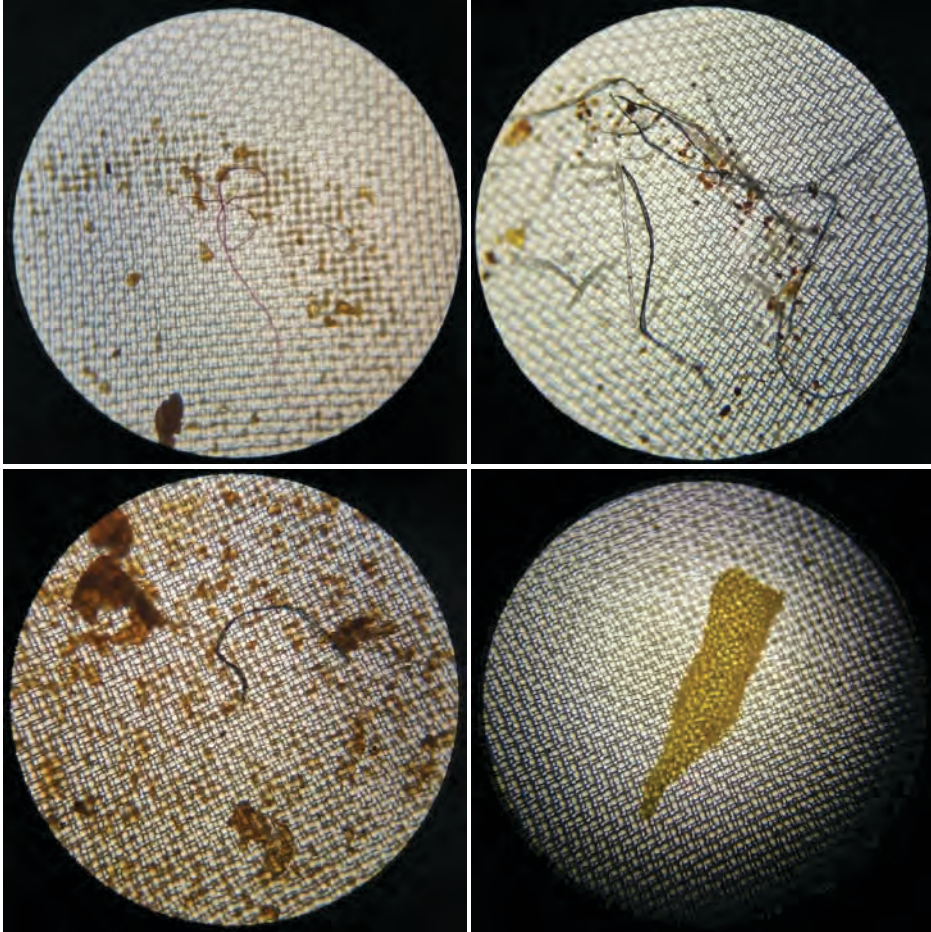
Kaikki näytteet käsiteltiin ja tutkittiin viitenä rinnakkaisnäytteenä. Kumpaakin hiiltämätöntä lietenäytettä mitattiin 200 ml 500 ml:n lasipulloihin, joihin lisättiin 2 ml ferrisulfaattia ($\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ (1 g FE/litra)) saostamaan fosforia. Näytteisiin lisättiin jodioitua ruokasuolaa kyllästämään näytteessä oleva vesi. Suolan määrä laskettiin lietteiden kuiva-aineen mukaan. Aktiivilietenäytteiden suolamäärä oli 70,5 g/näyte, ja kuiva-ainepitoisuudeltaan matalampiin MBR-lietenäytteisiin lisätyn suolan määrä oli 71,2 g/näyte. Näytteet sekoitettiin lavaravistelijalla (155 RPM 30 min) ja laskeutettiin yön yli. Näytteisiin muodostui kaksi faasia, joista ylempi faasi suodatettiin nailonverkon lävitse imulla.

Lietenäytteitä kuivattiin haihdutusmaljoissa uunissa 40–50 °C:ssa noin 96 tunnin ajan 200 ml/näyte, jolloin lietteiden kaikki neste oli haihtunut. Kuivaamisen jälkeen näytteet hiillettiin muhveliuunissa 150 °C:n, 200 °C:n, 250 °C:n ja 400 °C:n lämpötiloissa. Lämpötilaa nostettiin kahden tunnin ajan haluttuun lämpötilaan, ja viipymäaikana käytettiin kahta tuntia. Hiillettyjen näytteiden lisäksi kuivatettiin yhdet näyte-erät MBR- ja aktiivilietteitä, joita ei kuitenkaan hiilletty (kuva 1).



KUVA 1. Vasemmalla on kuivattua MBR-lietettä ja oikealla kuivattua aktiivilietettä (kuvat Jussi Konttila).

Sekä kuivaamalla käsitellyt että kuivaamalla ja hiiltämisellä käsitellyt näytteet siirrettiin haihdutusmaljoilta lasipulloihin suolaliuoksen avulla liuottamalla. Lasipulloissa näytteisiin lisättiin 2 ml ferrisulfaattia ja ne sekoitettiin lavaravistelijassa (155 RPM 30 min). Laskeuduttuaan yön yli näytteet pipetoitiin nailonverkolle ja lasipulloihin lisättiin 100 ml suolaliuosta. Ravistelu, laskeuttaminen ja suodatus toistettiin. Kun kaikki näytteet oli konsentroitunut nailonverkolle, ne mikroskoipoitiin valomikroskooppilla. Nailonverkko tutkittiin läpi käyttäen 40- tai 100-kertaista suurennosta. Mikroskopiinnissa laskettiin kaikki kuitumaiset ja helmimäiset mikromuovipartikkelit. Partikkelit, joiden ei voitu varmasti todeta olevan mikromuovia, jätettiin pois laskuista. Kuvassa 2 on jätevesilietteestä mikroskoipoituja, huokoskooltaan 10 µm:n kuituja nailonverkolla.



KUVA 2. Jätevesilietteestä mikroskoipoituja, huokoskooltaan 10 µm:n kuituja nailonverkolla (kuvat Jussi Konttila).

HIILTÄMISKOKEIDEN TULOKSET

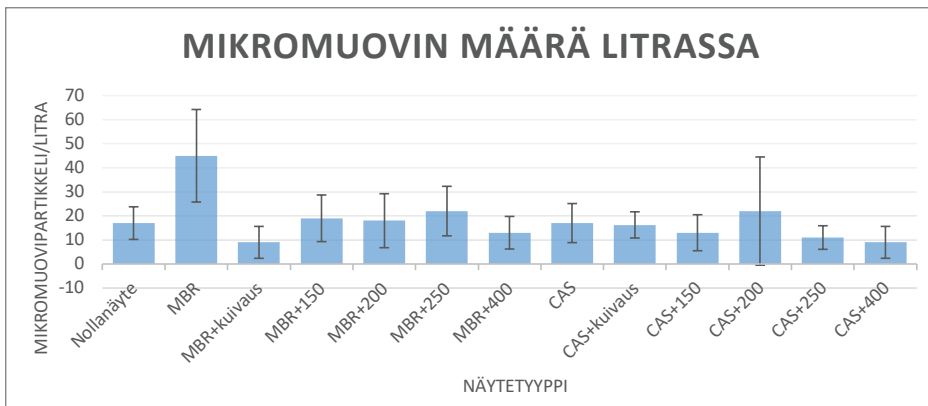
Nollanäytteestä löytyi mikromuovipartikkeleita 17 kpl/litra (\pm 6,8). Käsittelemättömän eli kuivaamattoman ja hiiltämättömän MBR-lietteen mikromuovipartikkelien pitoisuus näytteessä oli 45 kpl/l (\pm 19,2) ja kuivattun MBR-lietteen 9 kpl/l (\pm 6,6). 150 °C:ssa hiilletyssä MBR-lietteessä mikromuovipartikkeleita oli 19 kpl/l (\pm 9,7), 200 °C:ssa hiilletyssä 18 kpl/l (\pm 11,2) ja 250 °C:ssa hiilletyssä 22 kpl/l (\pm 10,3). 400 °C:n hiiltämisen jälkeen MBR-lietteen mikromuovipartikkelien pitoisuus oli 13 kpl/l (\pm 6,8) (taulukko 1).

Käsittelemättömän aktiivilietteen mikromuovipartikkelien pitoisuus oli 17 kpl/l (\pm 8,1) ja kuivattun aktiivilietteen 16 kpl/l (\pm 5,4). 150 °C:ssa hiilletyssä aktiivilietteen mikromuovipartikkeleita oli 13 kpl/l (\pm 7,5), 200 °C:ssa hiilletyssä 22 kpl/l (\pm 22,5) ja 250 °C:ssa käsitellyssä aktiivilietteen 11 kpl/l (\pm 4,9). 400 °C:ssa hiilletyn aktiivilietteen mikromuovipartikkelien pitoisuus oli 9 kpl/litra (\pm 6,6) (taulukko 1).

TAULUKKO 1. Lietenäytteiden käsittelyt, mikromuovipitoisuudet ja selitteet.

Näytetyyppi	Käsittely	Hiiltilämpötila (°C)	Mikromuovi-partikkelit (kpl/l)	Selite kuvassa 7
Suodatettu suolaliuos	käsittelemätön	ei hiilretty	17	Nollanäyte
MBR-liete	käsittelemätön	ei hiilretty	45	MBR
MBR-liete	kuivaus	ei hiilretty	9	MBR+kuivaus
MBR-liete	kuivaus	150	19	MBR+150
MBR-liete	kuivaus	200	18	MBR+200
MBR-liete	kuivaus	250	22	MBR+250
MBR-liete	kuivaus	400	13	MBR+400
Aktiiviliete	käsittelemätön	ei hiilretty	17	CAS
Aktiiviliete	kuivaus	ei hiilretty	16	CAS+kuivaus
Aktiiviliete	kuivaus	150	13	CAS+150
Aktiiviliete	kuivaus	200	22	CAS+200
Aktiiviliete	kuivaus	250	11	CAS+250
Aktiiviliete	kuivaus	400	9	CAS+400

Kuvan 3 kaaviossa on esitetty rinnakkaisnäytteistä lasketut mikromuovien partikkelien pitoisuuksien keskiarvot eri näytteissä sekä rinnakkaisnäytteiden pitoisuuksien lasketut hajonnat.



KUVA 3. Mikromuovipartikkeleiden määrä nollanäytteessä, MBR- ja aktiivilietteessä (CAS) sekä niiden eri käsittelyerissä.

JOHTOPÄÄTÖKSET

Tässä tutkimuksessa tavoitteena oli eri lämpötiloja, 150–400 °C, testaamalla määrittää alin hiilolämpötila, jossa mikromuovit palaisivat pois lietteestä. Tutkimuksessa käytettyjen menetelmien sisältämien epävarmuustekijöiden vuoksi biohiiliprosessin vaikutusta mikromuovien poistumiseen jätevesilietteestä ei pystytä tämän esitutkimuksen pohjalta luotettavasti toteamaan. Eri lietenäytteiden ja tutkimuksessa käytetyn puhdasnäytteen, suolaliuoksen, sisältämien laskettujen mikromuovipitoisuuksien epäjohtonmukaisuuden vuoksi hiiltoprosessissa käytettyjen eri lämpötilojen vaikutusta mikromuovien poistumiseen ei pystytä tämän esiselvityksen perusteella toteamaan.

Tutkimus näyttäisi, että MBR-lietteen mikromuovipitoisuus on suurempi kuin aktiivilietteen. Tämä tukee aikaisempia tutkimuksia membraanibioreaktorin puhdistustehokkuudesta verrattuna perinteiseen aktiivilieteprosessiin (Talvitie ym. 2017b). Suuremman puhdistustehon tekniikat keräävät jäteveden haitta-aineet lietteeseen, mikä näkyy muun muassa suurempana mikromuovipitoisuutena lietteessä.

Jotta mikromuovien poistumista jätevesilietteestä hiiltämisen avulla voitaisiin tarkastella luotettavammin, tulee koejärjestelyssä käyttää useampia rinnakkaisnäytteitä, korkeampia hiiltämislämpötiloja ja tarkempia menetelmiä mikromuovien tunnistamiseen lietteestä ja hiiltojäännöksestä. Mikromuovipartikkelien visuaalinen tunnistaminen lisää tutkimuksen epävarmuustekijöitä, eikä tässä esitutkimuksessa kyetty luotettavasti tunnistamaan mikromuovipartikkeleita muista kuiduista. Mikromuoveja voidaan tunnistaa luotettavammin muun muassa FTIR (Fourier Transform Infrared Spectrometer)- sekä Raman-analyysien avulla. Luotettava tulos edellyttää prosessin epävarmuustekijöiden ja saastumisen mahdollisuuden poistamista tutkimuksen jokaisessa vaiheessa.

Koejärjestely jätevesilietteen sisältämän mikromuovien poistumiseen hiiltoprosessissa tulee jatkotutkimuksissa toteuttaa esimerkiksi merkkiaine-menetelmällä, jossa laadultaan ja määrältään tunnettuja muovipartikkeleita sisällytetään lähtöaineeseen. Tunnettujen partikkeleiden mahdollinen poistuminen hiiltoprosessissa on todennettavissa seuraamalla näytteeseen sisällytettyjen partikkeleiden määrää lähtöaineessa ja lopputuotteessa.

Biohiiliprosessin vaikuttavuudesta jätevesilietteen sisältämän mikromuovien poistumiseen ei ole vielä nykyisin olemassa täysin soveltuvia analyysimenetelmiä. Yhdyskuntajätevesilietteen jalostaminen biohiileksi on kuitenkin yksi mahdollisista ratkaisuista jätevesilietteen jatkokäyttöön tai -sijoitukseen liittyen. Jätevesilietteen hyödyntäminen biohiilenä ja siten maanparannuksen raaka-aineena luo vaihtoehdon jäteveden jalostukselle ja hyödyntämiselle sekä tarjoaa kasvualustaa tiiviissä muodossa. Tässä valmisteleavassa tutkimuksessa menetelmää testattiin soveltuvin osin lietteen kuivaukseen ja käytettävän hiilolämpötilan vaikutukseen liittyen. Biohiilen turvallisuus mikromuovipartikkeleiden osalta vaatii vielä tarkempia ja laajempia tutkimuksia sekä menetelmien kehittelyä luotettavien tulosten saamiseksi.

LÄHTEET

Carr, S.A., Liu, J., Tesoro, A.G. 2016. Transport and fate of microplastic particles in wastewater treatment plants. *Water Research* 91. s. 174–182. Www-dokumentti saatavissa: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0043135416300021#bib9> [viitattu 16.8.2019].

Guzzetti, E., Surenda, A., Tejada, S., Faggio, C. 2018. Microplastic in marine organism: Environmental and toxicological effects. *Environmental Toxicology and Pharmacology* 64. s.164–171.

He, D., Luo, Y., Lu, S., Liu, M., Song, Y., Lei, L. 2018. Microplastics in soils: Analytical methods, pollution characteristics and ecological risks. *Trends in Analytical Chemistry* 109. s. 163–172. Www-dokumentti saatavissa: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0165993618304102#bib2> [viitattu 16.8.2019].

Karjalainen, M., 2019. Mikromuovit Suomenlahden hiekkarannoilla. Näytteenoton testaus, hiukkasten määrä ja morfologia. Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu. Ympäristötekniikan koulutusohjelma. Opinnäytetyö.

Sauvola, E. 2018. Biohiili ja sen käyttö maanparannuksessa. Kandidaatintutkielma, kemian tutkinto-ohjelma, Oulun yliopisto. Pdf-tiedosto saatavissa: <http://jultika.oulu.fi/files/nbnfoulu-201811143037.pdf> [viitattu 2.10.2019].

Suomen biohiiliyhdistys. Mitä biohiili on? Www-dokumentti saatavissa: <https://www.suomenbiohiili.fi/biohiili/> [viitattu 2.10.2019].

SYKE, Suomen ympäristökeskus. 2017. Mikromuovit riski ympäristölle. Näkökulma ympäristöpolitiikkaan 21.3.2017. PDF-tiedosto saatavissa: https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/177566/SYKE_PolicyBrief_mikromuovi_FI_web.pdf?sequence=1&isAllowed=y [viitattu 27.9.2019].

Talvitie, J., Mikola, A., Koistinen, A., Heinonen, M., Setälä, O. 2017a. How well is micro-litter purified from wastewater? – A detailed study on the stepwise removal of microlitter in a tertiary level wastewater treatment plant. *Water Research*. s. 164–172. Www-dokumentti saatavissa: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0043135416308971#bib19> [viitattu 15.8.2019].

Talvitie, J., Mikola, A., Koistinen, A., Setälä, O. 2017b. Solutions to microplastic pollution – Removal of microplastics from wastewater effluent with advanced wastewater treatment technologies. *Water Research* 109. s. 401–407. Www-dokumentti saatavissa: <https://www.sciencedirect.com.ezproxy.xamk.fi/science/article/pii/S0043135417305687#bib14> [viitattu 5.8.2019].

Vesilaitosyhdistys. 2019. Puhdistamolietteen termiset käsittelymenetelmät ja niiden soveltuvuus Suomeen. Vesilaitosyhdistyksen monistesarja nro 56. Helsinki. Pdf-tiedosto saatavissa: https://www.vvy.fi/site/assets/files/2916/puhdistamolietteen_termiset_kasittelymenetelmät_ja_niiden_soveltuvuus_suomeen.pdf [viitattu 28.10.2019].

Wang, J., Xianhua, L., Li, Y., Powell, T., Wang, X., Wang, G., Zhang, P. 2019. Microplastics as contaminants in the soil environment: A mini-review. *Science of The Total Environment* 691. s. 848–857. Www-dokumentti saatavissa: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969719333236#bb0080> [viitattu 16.8.2019].

HARVINAISTEN MAAMETALLIEN TALTEENOTTO VAIHTO- EHTOISISTA RAAKA-AINEISTA

Eveliina Repo & Kari Laine & Tuija Ranta-Korhonen & Tiina Saario & Hanne Soininen

Harvinaiset maametallit (Rare Earth Element, REE) eivät ole niin harvinaisia kuin niiden nimi antaa ymmärtää. Todellisuudessa maankuoresta REE-alkuaineita löytyy enemmän kuin esimerkiksi kultaa. (Wallenius 2012a, 12) Harvinaisten maametallien merkitys on viime vuosina kasvanut, sillä näitä metalleja tarvitaan lukuisilla eri teollisuuden aloilla. Esimerkiksi uudet puhtaat teknologiat, kuten sähköautot, aurinkoenergia ja tuulivoima, ovat riippuvaisia harvinaisten maametallien saatavuudesta. Koska Kiina on lähes ainoa harvinaisten maametallien mineraalijalostaja, on syntynyt tarve varmistaa näiden metallien saatavuus myös jatkossa. Tästä syystä on alettu kehittää tekniikoita harvinaisten maametallien talteenottoon erilaisista jättejakeista.

Harvinaisten maametallien talteenotto vaihtoehtoisista raaka-aineista -hankkeen tavoitteena on kehittää uusia sähkökemiallisiin ilmiöihin sekä ioninvaihtoon perustuvia harvinaisten maametallien talteenottoratkaisuja sivuvirroista, kuten elektroniikkaromusta, kuonasta, tuhkasta ja lietteestä, ja tutkia näiden menetelmien tehokkuutta sekä taloudellisuutta (kuva 1). Hanketta toteuttavat päätoteuttajana Lappeenrannan–Lahden teknillinen yliopisto LUT, Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu sekä Kouvola Innovation. Hankkeen päärahoittaja on Etelä-Savon maakuntaliitto Euroopan aluekehitysrahastosta. Hankkeen toteutus alkoi 1.11.2018, ja hanke päättyy 30.4.2021.



KUVA 1. Energiantuotannon sivuainevirrat sisältävät myös REE-metalleja (kuva Manu Eloaho).

HARVINAISET MAAMETALLIT

Harvinaisia maametalleja on 17 kpl, ja ne sijoittuvat alkuainetaulukossa siirtymämetallien ryhmään. REE-alkuaineisiin luetaan skandium, yttrium sekä 15 lantanoidia (lantaani, cerium, praseodyymi, neodyymi, prometium, samarium, europium, gadolinium, terbium, dysprosium, holmium, erbium, tulium, ytterbium ja lutetium) (Wallenius 2012a, 12). Harvinaiset maametallit ovat puhtaina yleensä väriltään harmaita tai hopeanvärisiä, kiiltäviä, pehmeitä ja taipuisia eli helposti muokattavia. Harvinaiset maametallit jaetaan keveisiin (Light Rare Earth Elements, LREE) ja raskaisiin maametalleihin (Heavy Earth Elements, HREE). (Tiihonen 2014, 2)

Harvinaiset maametallit ovat uloimmalta elektronikuoreltaan samankaltaisia. Tästä syystä ne ovat myös ominaisuuksiltaan samankaltaisia ja voivat korvata toisiaan esimerkiksi kiderakenteissa. Yhteneviä ominaisuuksia ovat myös elektropositiivisuus ja poikkeukselliset magneettiset ja optiset ominaisuudet. (Wallenius 2012a, 12) Samankaltaisuutensa vuoksi ne harvoin esiintyvät mineraalimuodossa yksistään, vaan ne esiintyvät tyypillisesti jonkun muun REE-alkuaineen kanssa. Kaivannaisista monatsiitti, bastnäsiitti, ksenotiimi ja erilaiset savet ovat suurimpia REE-alkuaineiden lähteitä. (Zhang 2018, 4)

HARVINAISTEN MAAMETALLIEN KÄYTTÖKOHEET

Harvinaisia maametalleja käytetään lukuisilla teollisuuden aloilla. Taulukossa 1 on listattu REE-alkuaineiden erilaisia käyttökohteita.

TAULUKKO 1. Harvinaisten maametallien käyttökohteet (Wallenius 2012).

Nimi	Tunnus	Käyttökohteet
Skandium	Sc	Alumiiniyhdisteet (polkupyörät, lentokoneet), elohopealamput – valon luonnollistaminen
Yttrium	Y	Laserit, suprajohteet, energiansäästölamput, kuituoptiikka, televisiolaitteet
Lantaani	La	Kameran linssi, akut, krakkauskatalyytit
Cerium	Ce	Hiontajauhe, kellertävä väri lasihin ja keramiikkaan
Praseodyymi	Pr	REE-magneetit, laser, lentokoneen moottorit
Neodyymi	Nd	Magneetit, kovalevyt, tuuliturbiinit, hybridautot, aseteknologia jne. Violetti väri lasiin ja keramiikkaan
Prometium	Pm	Atomiparistot, kellot ja sydämentahdistajat
Samarium	Sm	Magneetit, laserit ja lasi
Europium	Eu	Punainen väri tv-kuvassa. Energiansäästölamput ja optiset kuidut
Gadolinium	Gd	Magneetit, tietokoneen muisti, laserit, röntgenputket
Terbium	Tb	Loiste- ja energiansäästölamput, magneetit
Dysprosium	Dy	Magneetit, laserit, aseteknologia
Holmium	Ho	Voimakkaat teollisuusmagneetit, laserit
Erbium	Er	Vahvistimena kuituoptisissa sovelluksissa
Tulium	Tm	Säädettävät röntgenlaitteet
Ytterbium	Yb	Infrapunalaserit, aseteknologia
Lutetium	Lu	PET-laitteistot, linssit ja lasit, öljyteollisuuden katalyytit

ESIINTYMINEN JÄTEJAKEISSA JA SIVUVIRROISSA

Erilaiset kaivos- ja metalliteollisuuden sivuvirrat voisivat tulevaisuudessa olla harvinaisten maametallien merkittävä lähde. Esimerkiksi Suomessa Siilinjärvellä Yaran fosforilannoitteen tuotannon sivuvirtana syntyy fosfokipsiä, jonka on todettu sisältävän muun muassa neodyymiä, erbiomia ja europiumia. Koska näiden volyymit ovat suuria, eri sivuvirroista olisi mahdollista ottaa talteen huomattavia määriä harvinaisia maametalleja. (Zhang 2018, 7)

Harvinaisia maametalleja käytetään erilaisissa elektronisissa laitteissa, ja käytetyt laitteet, kuten tietokoneet, kestopagneetit tai loiste- ja energiansäästölamput, ovat potentiaalisia kohteita metallien talteenotolle. Elektroniikkajätteen määrä lisääntyy jatkuvasti, ja vuotuisen kasvun on arvioitu olevan 4–5 prosenttia. Elektroniikkajäte muodostaa noin 3–5 prosenttia yhdyskuntajätteen määrästä, ja sen on arvioitu tulevaisuudessa olevan merkittävä sekundäärinen lähde erilaisille jalometalleille ja harvinaisille maametalleille. (Kulomäki 2016, 7)

Autoteollisuus on yksi suurimmista harvinaisten maametallien käyttäjä. Eniten harvinaisia maametalleja käytetään hybridi- ja sähköautoissa (kestomagneetit, hybridimoottori-generaattori, nikkelimetallihybridiakut). (Wallenius, 2012b) Polttomoottoriautoissa eniten REE-alkuaineita löytyy autojen katalysaattoreista. Autoteollisuus käyttääkin katalysaattoreissa vuosittain noin 6 000 tonnia harvinaisia maametalleja oksidimuodossa (REO). Lisäksi uusissa autoissa on runsaasti erilaisia pieniä sähkömoottoreita ja antureita, joiden valmistamisessa käytetään REE-alkuaineita. (Vesa 2017, 2) Tästä syystä ajoneuvojen kierrätysmateriaalit voivat olla keskeinen harvinaisten maametallien lähde.

Erilaisia tuhkia syntyy muun muassa tuotettaessa energiaa polttamalla kiinteitä polttoaineita, kuten kivihiiltä, turvetta tai puuta. Lisäksi tuhkia syntyy suuria määriä jätteenpolttolaitoksilla. Koska tuhkia syntyy suuria määriä vuosittain Kaakkois-Suomenkin alueella, tarjoavat ne hankalan mutta runsaan matriisin esimerkiksi ravinteiden ja erilaisten metallien talteenotolle.

SIVUVIRRAT RAAKA-AINERESERVINÄ

Harvinaisten maametallien talteenotto vaihtoehtoisista raaka-aineista -hankkeen lähtökohtana pidetään vähähiilisyiden edistämistä sekä energia- että materiaalitehokkuuden kautta. Tavoitteena on myös luoda kattava verkosto, jonka tarkoituksena on edistää metallien kierrätystä Kaakkois-Suomen alueella. Tätä varten hankkeen aikana kartoitetaan alueella tuotetut sivuvirrat sekä sivuvirtoja hyödyntävät tahot ja luodaan edellytykset uusien teollisten symbioosien kehittymiselle.

Hankkeen tuloksena saadaan merkittävää uutta tietoa harvinaisten maametallien määrästä ja arvosta teollisuuden ja kotitalouksien sivuvirroissa sekä uusia ratkaisuja harvinaisten maametallien talteenottoon näistä vaihtoehtoisista raaka-aineista. Ratkaisuja voidaan laajentaa koskemaan myös muita arvokkaita metalleja. Hanke luo vahvan pohjan uusien talteenotomenetelmien pilotointiin alueella sekä vahvistaa alueen asemaa kiertotalouden ytimessä.

LÄHTEET

Kulomäki, S. 2016. Piirilevyjen koostumuksesta ja kierrätyksestä. Pro gradu -tutkielma, Jyväskylän yliopisto, Kemian laitos.

Tiihonen, A. 2014. Harvinaisista maametalleista ja niiden erotusmenetelmistä. Pro gradu -tutkielma, Jyväskylän yliopisto, Kemian laitos.

Vesa, J. 2017. Kriittiset metallit ja huoltovarmuus. Huoltovarmuusorganisaation julkaisu.

Wallenius, J. 2012a. Harvinaiset maametallit pyörittävät maailmaa. *Kemia* 1/2012, s. 12–15.

Wallenius, J. 2012b. Auto on täynnä harvinaisia maametalleja. *Turun Sanomat* 23.1.2012.

Zhang, W. 2018. Metal (IV) Phosphate Based Functional Materials for Selectively Harvesting Rare-Earth Elements from Bauxite Residue. Helsingin yliopisto, Kemian laitos. Väitöskirja.

RAJOJA YLITTÄVÄÄ YHTEIS- TYÖTÄ PUHTAIDEN VESISTÖJEN SÄILYTTÄMISEKSI

Vuokko Malk & Hanne Soininen & Jaana Jarva & Kristiina Nuottimäki & Tarja Hatakka

Venäläiset yhteistyökumppanit SC Mineral ja Limnologian instituutti edistävät Geologian tutkimuskeskuksen ja Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulun kanssa Pietarin kaupungin ja Itämeren vesiensuojelua yhteisessä Environmental impacts of the Krasny Bor toxic waste landfill (EnviTox) -projektissa.

Projektia koordinoi Valtion geologinen yhtiö «Mineral» (SC Mineral) Pietarista. Osatoteuttajina ovat Geologian tutkimuskeskus, Limnologian instituutti Pietarista ja Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu. Hanketta (1.3.2019–28.2.2022) rahoittavat Euroopan unioni, Venäjän federaatio ja Suomen tasavalta Kaakkois-Suomi – Venäjä CBC 2014–2020 -ohjelmasta. Projektissa kehitetään työkaluja sekä annetaan suosituksia tukemaan hyvää ympäristön tilaa, riskienhallintaa ja kestävää kehitystä pitkällä aikavälillä Krasny Borin vaarallisen jätteen kaatopaikkaa ympäröivällä alueella. Projekti tuottaa tietoa ja jakaa hyviä käytäntöjä ympäristön tilan arvioinnista sekä päätöksentekijöille että maankäytön suunnittelijoille.

NÄYTTEENOTOLLA LISÄÄ MERKITTÄVYYTTÄ

Näytteenotolla on tärkeä merkitys ympäristön tilan tutkimisessa. Edustavien näytteiden ottaminen ja kenttämittaus erilaisista ympäristökohteista edellyttää hyvää näytteenoton ja mittausten teorian ja virhelähteiden tuntemista. Lisäksi näytteenottajalla tulee olla perehtyneisyyttä kenttätoimintaan käytännössä. Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu on tarjonnut jo vuosien ajan Suomen ympäristökeskuksen sertifoimaa koulutusta vesistö- ja maaperänäytteenottoon. Sertifointijärjestelmän avulla Suomessa varmistetaan kenttätoiminnan laatu.

Kesäkuussa Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu ja Geologian tutkimuskeskuksen asiantuntijat jakoivat tietoa suomalaisista näytteenotokäytännöistä venäläisille yhteistyökumppaneille. Mikkelissä järjestetyn nelipäiväisen vierailun aikana tutustuttiin vesistönäytteenottoon Urpolan joella ja pohjavesinäytteiden ottoon Mikkelin kampuksella (kuva 1).



KUVA 1. Suomalaisia vesistönäytteenottokäytäntöjä esiteltiin venäläisille yhteistyökumppaneille Urpolan joella (kuva Vuokko Malk).

KANSAINVÄLISELLÄ YHTEISTYÖLLÄ YMPÄRISTÖN TILAA PARANTAMASSA

Vierailun aikana tutustuttiin myös uudenlaisiin kenttämittareihin ja jatkuvatoimisiin monitorointimenetelmiin sekä passiiviseen näytteenottoon. Venäläiset yhteistyökumppanit kokivat antoisaksi saadessaan tietoa eurooppalaisista ja suomalaisista uusista näytteenotto-meneteleistä (kuva 2). Kansainvälinen yhteistyö tuottaa tietoa seuranta- ja tutkimuskäytännöistä, ympäristön haavoittuvuudesta ja riskien arvioinnista.



KUVA 2. XRF-kenttämittarin toiminnan esittelyä Metsäsairilan jäteasemalla (kuva Vuokko Malk).

HULEVESIEN HALLINTAA UUDELLA T&K-YMPÄRISTÖLLÄ

Aki Mykkänen & Hanne Soininen & Jussi Heinimö & Sari Hämäläinen

Huky – Hulevesien käsittelyn T&K-ympäristö (A74988) -hankkeessa toteutetaan reaaliaikainen sähköinen seurantajärjestelmä Mikkeliin rakennettavaan biohiiltä hyödyntävään hulevesien käsittelyjärjestelmään (kuva 1). Huky on Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulun ja Mikkelin kehitysyhtiö Miksei Oy:n yhteishanke, jota rahoittaa Etelä-Savon ELY-keskus Euroopan aluekehitysrahastosta ja Mikkelin kaupunki. Huky on rinnakkaishanke Mikkelin kaupungin investointihankkeelle (A74989), jossa toteutetaan hankkeen aikana biohiilipohjaisten hule- ja suotovesien käsittelyratkaisut Mikkelin Pitkäjärvelle ja Ristiinaan. Investointihanketta rahoittaa Etelä-Savon ELY-keskus Euroopan aluekehitysrahastosta ja Mikkelin kaupunki.



KUVA 1. Huky-hankkeessa käytetään online-anturiteknikkaa hulevesien laadun seurannassa (kuva Manu Eloaho).

BIOHIILI EDISTÄMÄSSÄ HULEVESIEN KÄSITTELYÄ MIKKELISSÄ

Hulevesien käsittelyllä on ilmastonmuutoksen myötä lisääntyvän sadannan ja sateiden intensiteetin kasvun myötä entistä tärkeämpi merkitys kaupunkien sisäisen vesitalouden hallinnassa. Hulevesien käsittely on myös tärkeää vesistöjen veden laadun kannalta. Esimerkiksi Mikkelin kaupungin hulevedet vaikuttavat kaupunkialueen vesistöjen ja lopulta myös kaupungin alapuolisen Saimaan vedenlaatuun. Hulevesien mukana vesistöihin voi päätyä kiintoainetta, ravinteita, mikrobeja sekä esimerkiksi erilaista muovirooskaa. Valtaosa hulevesien ravinteista ja metalleista on sitoutunut kiintoaineeseen. Merkittävimpiä hulevesien epäpuhtauslähteitä ovat liikenne ja asutus. Katu- ja tiealueiden talvikunnossapidossa käytetty tiesuola saattaa päätyä vesistöihin sulamisvesien mukana, mikä nostaa veden johtokykyä ja voi pahimmassa tapauksessa aiheuttaa vesistön kerrostumista ja pahentaa pohja-alueiden happikatoa.

Tyypillisesti hulevedet aiheuttavat vesistöjen tuhrautumista ja veden laadun hidasta huononemista. Koska hulevesien aiheuttama kuormitusvaikutus on kuitenkin jatkuvaa, kertaantuu veden laadun huonontuminen ajan kuluessa, mikäli asialle ei tehdä mitään.

Mikkelissä ei toistaiseksi ole toteutettu hulevesiratkaisuja kovin suuressa mittakaavassa. Valtatie 5:n perusparannuksen myötä Veturintallinlahteen rakennettiin hulevesiallas, johon kootaan hulevedet Nuijamiehen ja Urpolan kaupunginosista. Altaasta vedet päätyvät kosteikon ja erilaisten rakenteiden kautta Saimaaseen. Mikkelin kaupungin hulevesiohjelman mukaan hulevesien hallinta on kaupunkialueella järjestetty pääasiallisesti sadevesiviemäriverkoston ja avo-ojien avulla. Lisäksi käytössä on muutamia luonnonmukaisia hulevesien käsittelyalueita.

Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulun ja Mikkelin kehitysyhtiö Miksei Oy:n toteuttamassa Biohiilellä puhtaampi ympäristö ja uutta liiketoimintaa Etelä-Savoon (Bioli)-hankkeessa selvitettiin biohiiltä hyödyntävän hulevesien käsittelyratkaisun toteuttamista Mikkelisiin. Tehdyn työn ja esiselvitysten tuloksena Mikkelin kaupunki on toteuttamassa biohiiltä hyödyntävän hulevesien käsittelyratkaisua Pitkäjärveen laskevien hulevesien laadun parantamiseksi ja Ristiinan suljetun kaatopaikan suotovesien käsittelyyn. Bioli-hanketta rahoittivat Etelä-Savon maakuntaliitto Euroopan unionin aluekehitysrahastosta, Metsäairila Oy ja Suur-Savon Energiasäätiö sr.

TUTKIMUSKOKONAISUUDELLA KEHITETÄÄN UUSIA BIOHIILIPOHJAISIA SUODATINRATKAISUJA

Etelä-Savon maakunnassa on tehty pitkäjärteistä työtä uusien biojalosteiden, erityisesti biohiilen, kehittämiseksi ja kaupallistamiseksi. Yksi mielenkiintoisimmaksi arvioitu uusi sovellus biohiilelle on hulevesien käsittely. Biohiili soveltuu erittäin hyvin käytettäväksi hulevesirakenteissa, sillä maaperään lisätty biohiili parantaa maaperän vedenpidätyskykyä.

Hulevesien käsittelyllä on ilmastonmuutoksen myötä lisääntyvän sadannan ja sateiden intensiteetin kasvun myötä entistä tärkeämpi merkitys kaupunkien sisäisen vesitalouden hallinnassa. Hulevesien käsittely on myös tärkeää vesistöjen veden laadun kannalta.

Hankkeen tavoitteena on suunnitella ja toteuttaa Mikkeliin rakennettavaan biohiiltä hyödyntävään hulevesien käsittelyjärjestelmään kattava reaaliaikainen sähköinen seurantajärjestelmä. Samalla on tarkoitus käynnistää biohiilipohjaisten hulevesien käsittelyratkaisujen T&K-työ Mikkelin kaupungin rinnakkaishankkeessa Mikkelin Pitkäjärvelle ja Ristiinaan toteutettavissa hulevesien käsittelykohteissa.

Hanke mahdollistaa maakunnan vesiosaamiseen liittyvän T&K-toiminnan laajentamisen sekä vahvistaa seudun asemaa vesiosaamisessa ja biohiiliratkaisujen edelläkävijänä. Hankkeessa toteutettava järjestelmä lisää seudun houkuttelevuutta partnerina ja T&K-kumppanina kansainvälisissä vesiosaamisen hankkeissa.

Hankkeiden toimenpiteet ovat seuraavat:

- hulevesien käsittelyjärjestelmän rakentaminen (Mikkelin kaupunki)
- demonstraatiokohteiden monitorointi (Xamk)
- T&K-toiminnan aktivointi ja toimijaverkoston kokoaminen hyödyntämään T&K-ympäristöä (Miksei)
- raportointi ja tiedottaminen (Xamk ja Miksei).

UUDENLAINEN PILOT-YMPÄRISTÖ OSAKSI ECOSAIRILAA

Biohiilen hyödyntäminen hulevesien käsittelyratkaisuissa on uutta Suomessa, aihepiiriin on paljon kiinnostusta ja useita erityyppisiä T&K-hankkeita on käynnissä. Hankekokonaisuudessa toteutettavaa ratkaisua ei ole toistaiseksi toteutettu muualla. Hankkeen keskeisin uutuusarvo on toteuttaa täyden mittakaavan hulevesien käsittelyratkaisu, joka samalla toimii ainutlaatuisena tutkimus- ja kehitysympäristönä.

Ympäristö mahdollistaa erityyppisten suodatusmateriaalien tutkimus- ja kehitystyön, testauksen sekä uusien suodatinratkaisujen kaupallistamisen tutkimustoimijoiden ja yritysten yhteistyönä. Sekä tutkimustoimijat että biohiiltä suodatinmateriaaliksi tarjoavat yritykset ovat ilmaisseet kiinnostuksensa ja hankekokonaisuuden tarpeen kehitettävälle ympäristölle.

Hankekokonaisuuden tuloksena toteutettavat hulevesien käsittelyjärjestelmät parantavat Saimaan vesistöön laskevien hulevesien laatua (kuva 2). Hankkeet vahvistavat entisestään Mikkelin vesiosaamista, tukevat EcoSairila-kehittämialustan mukaisia tavoitteita ja tarjoavat mahdollisuuksia yrityksille uusien hulevesien käsittelyratkaisuiden kehittämiseen ja testaamiseen.



KUVA 2. Huky-hankkeella parannetaan Saimaan vesistöön laskevien hulevesien laatua (kuva Manu Eloaho).

PUHTAAMPAA VETTÄ BIOHIILELLÄ – SUODATUSTEHON TUTKIMINEN PILOTTIKOHITEISSA

Aki Mykkänen & Lasse Hämäläinen

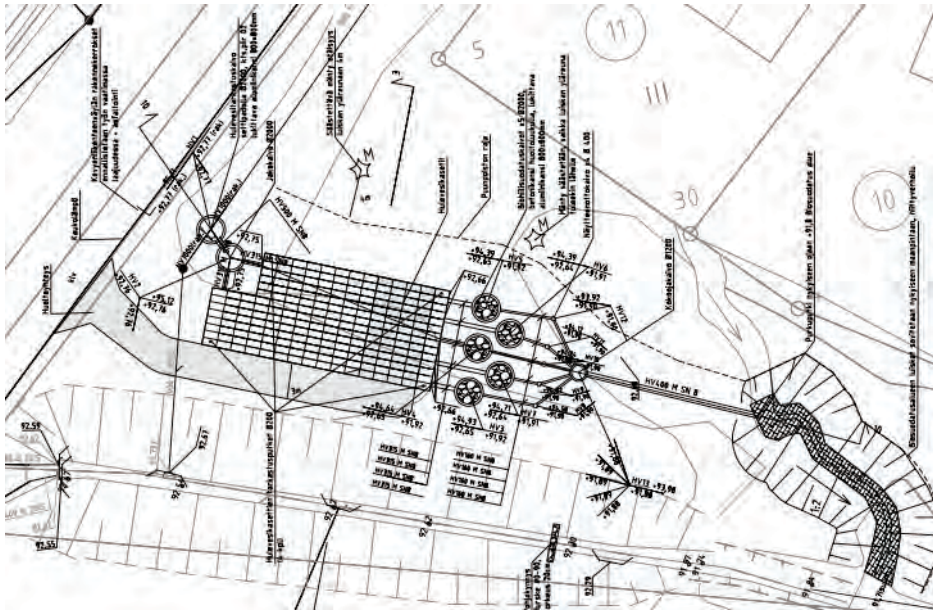
Ihmistoiminnalla on suuri vaikutus luonnonvesien laatuun. Rakennetuilta alueilta vesistöihin johdettavat hulevedet heikentävät vedenlaatua ja muuttavat sitä eliöille kelpaamattomaksi. Esimerkiksi Mikkeliissä hulevedet vaikuttavat kaupunkialueen vesistöjen ja lopulta myös kaupungin alapuolisen Saimaan vedenlaatuun. Hulevesien mukana kulkeutuu muun muassa kiintoainetta, ravinteita, metalleja, haitta-aineita sekä roskia. Hulevedet kuormittavat vesistöjä jatkuvasti, jolloin vedenlaadun heikkeneminen kertaantuu ajan kuluessa. Kuormitusta saadaan vähennettyä hulevesirakenteilla, joihin biohiili soveltuu erittäin hyvin. Maaperään lisättyä biohiiliä parantaa maaperän vedenpidätyskykyä sekä suodatustehoa. Tutkimalla erilaisten biohiililaatujen ominaisuuksia ja suodatustehoa pyritään prosessia tehostamaan entisestään. Tutkimuksista saaduilla tiedoilla voidaan mahdollisesti vähentää hulevesistä aiheutuvat kuormat sellaiselle tasolle, että vesistöjen vedenlaadun heikkeneminen saadaan pysäytettyä.

Huky – Hulevesien käsittelyn T&K-ympäristö (A74988) -hankkeessa toteutetaan vesitutkimusta Mikkelin Pitkäjärvelle rakennetussa hulevesien käsittelyjärjestelmässä sekä Ristiinaan rakennetussa suotovesien biosuodatuslaitteistossa. Tutkimuskohteet mahdollistavat erilaisten suodatinmateriaalien tutkimus- ja kehitystyön vesistöihin laskevilla vesillä. Toimivista suodatinratkaisuksista saadaan kaupallisia tuotteita tutkimustoimijoiden ja yritysten yhteistyönä. Huky on rinnakkaishanke Mikkelin kaupungin investointihankkeelle (A74989), jossa toteutetaan biohiilipohjaisten hulevesien käsittelyratkaisut Mikkelin Pitkäjärvelle ja Ristiinaan. Huky on Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulun ja Mikkelin kehitysyritys Miksei Oy:n yhteishanke. Hankkeita rahoittavat Etelä-Savon ELY-keskus Euroopan aluekehitysrahastosta ja Mikkelin kaupunki.

BIOHIILIPOHJAISET SUODATUSJÄRJESTELMÄT

Mikkelin kaupungin investointihankkeessa on tehty vuoden 2019 aikana kaksi biohiilipuhdistusjärjestelmää: Pitkäjärvelle Karilanojan hulevesien valuma-alueelle sekä suotovesille soveltuva biosuodatuskontti Ristiinan vanhalla kaatopaikalle. Pitkäjärven kohteessa tavoitteena on etsiä hulevesiverkostolle sovellettavaa suodatinrakennetta sekä saada tietoa tulevien puhdistuskohteiden mitoitukseen ja suunnitteluun.

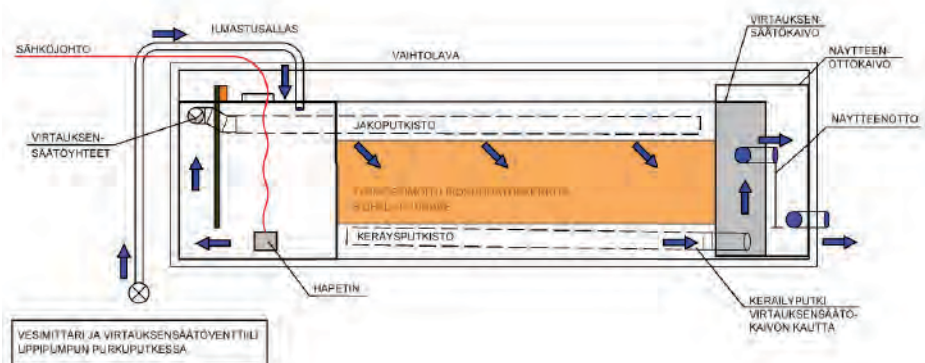
Käsittelyalue koostuu vastaanottosäiliöstä, käsittelyalueesta ja imeytys-/viivytysalueesta (kuva 1). Järjestelmässä oleva maanalainen kasettisäiliö mahdollistaa sadannan myötä muodostuvien likaisimpien hulevesien säilömistä. Kasettisäiliöstä vesi ohjataan suodatinkai-voihin, jotka sisältävät tutkittavat suodatinmateriaalit. Käsittelyaluetta ennen on rakennettu suotopatoja, joiden avulla virtaamaa viivytetään ja pidetään huleveden mukana liikkuvaa kiintoainesta (Mikkelin kaupunki 2019). Pitkäjärven kohteen viisi erillistä suodatinkai-voa antavat mahdollisuuden tutkia samanaikaisesti viittä erilaista materiaalia ja niiden vaikutuksia vedenlaatuun. Kaivoissa käytetään hankkeen ajan neljää erilaisista biohiililaatua, joiden puhdistustehoa verrataan pelkkää sepeliä sisältävään kaivoon.



KUVA 1. Pitkäjärven hulevesijärjestelmän asemapiirros (Mikkelin kaupunki 2019).

Ristiinan vanhalle kaatopaikalle rakennetun suotovesijärjestelmän avulla tutkitaan viipy-
män sekä virtaaman vaikutusta haitta-aineiden- sekä typenpoistoon. Näytteenotokaiivot
ja pumppauslinja rakennettiin siirtolavan sisään, jotta järjestelmää voitaisiin tarvittaessa
liikuttaa. Järjestelmän pituusleikkaus on esitetty kuvassa 2. Konttiin tuleva vesi jaetaan
kahteen linjaan, jolloin pystytään tutkimaan virtausnopeuden vaikutusta suodattimen
puhdistustehoon. Ennen käyttöönottoa järjestelmän biohiilisuodattimet kyllästettiin ta-
sausaltaasta pumpatulla suotovedellä. Kohteessa on tavoitteena vähentää kaatopaikalta
tulevan suotoveden kuormittavaa vaikutusta ja samalla tutkia biohiilisuodatuksen vaikutusta
läheisen Sorsalammen vedenlaatuun ja happitilaan (Mikkelin kaupunki 2019). Järjestelmä
tyhjennetään talvikuukausiksi. Ensi vuonna järjestelmä pyritään pitämään toiminnassa
huhtikuusta joulukuuhun.

SUOTOVESIEN BIOSUODATUSLAITTEISTO PITUUSLEIKKAUS



KUVA 2. Ristiinan suotovesien biosuodatuslaitteiston pituusleikkaus (Saarelainen 2019).

Hankkeessa tutkittavat suodatusjärjestelmät tarjoavat mahdollisuuden tutkia vesien puhdistamista in situ -tilanteissa. Ojiin asennettuihin suodattimiin ja kosteikkoratkaisuihin verrattuna hankkeessa rakennetut suodatinjärjestelmät ovat helpompia tutkittavia. Esimerkiksi suodattimien läpi virtaavan veden määrä tiedetään tarkemmin, koska vesi ei pääse imeytymään maaperään järjestelmän aikana.

Mikkelin ammattikorkeakoulussa tutkittiin yhdessä Tapio Oy:n kanssa biohiilen käyttöä osana vesiensuojelua vuosina 2015–2016 Biosuodattimet metsätalouden vesiensuojelussa -VETU-hankkeessa (päärahoittaja Etelä-Savon maakuntaliitto Euroopan aluekehitysrahastosta). Metsätalouden eri toimenpiteet, kuten kunnostusojitus, lannoitus, maanmuokkaus ja hakkuut, aiheuttavat vesistökuormitusta etenkin herkillä latvavesillä. Hankkeessa maastoon toteutettujen biosuodinten todettiin pidättävän etenkin kiintoainetta. Tutkimuksissa havaittiin, että talvella kylmien vesien aikaan biohiilen kyky pidättää veden epäpuhtauksia pienenee selvästi. (Karosto 2016)

Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulussa Mikkelin kehitysyritys Miksei Oy:n kanssa toteutetussa Bioli – Biohiilellä puhtaampi ympäristö ja liiketoimintaa Etelä-Savoon -hankkeessa tutkittiin biohiilen käyttöä veden ja kaasujen puhdistamisessa (päärahoittaja Etelä-Savon maakuntaliitto Euroopan aluekehitysrahastosta). Hankkeen laboratoriomittakaavan kokeissa havaittiin biohiilen pystyvän pidättämään vesistä typpeä ja jonkin verran metalleja. Vesien fosforipitoisuuden biohiilellä ei todettu olevan suurta vaikutusta. On mahdollista, että biohiiltä muokkaamalla, esimerkiksi aktivoimalla sitä rautaoksidiilla, sen fosforinpidätyskykyä voitaisiin kasvattaa. Typpeä pidättävä biohiili tulisi puolestaan otsonoida. Hankkeessa toteutetuissa kokeissa havaittiin myös, että veden virtausnopeuden hidastuminen parantaa biohiilisuodattimen puhdistustehoa. Biohiilisuodattimissa tapahtuu yhtäaikaaisesti sekä kemiallisia, fysikaalisia että biologisia reaktioita. (Laurila 2019)

SUODATUSTEHON TUTKIMINEN PILOT-KOYTEISSA

Huky-hankkeessa tutkimusta suoritetaan molemmista kohteista puhdistusprosessien tärkeimmistä pisteistä, jotka edustavat parhaiten saapuvaa vettä sekä saatua puhdistustehoa. Näistä pisteistä saatuja tuloksia voidaan vertailla keskenään, jolloin on myös mahdollista esimerkiksi erilaisten hiililaatujen erojen selvittäminen. Tutkittavat parametrit on valikoitu yleisistä vedenlaatuparametreista, kuten ravinteista. Laajemmassa näytteenotossa myös tutkitaan biohiilien kykyä sitoa esimerkiksi metalleja sekä orgaanista ainesta. Molemmat kohteet on rakennettu siten, että suodattimia vaihdettaessa myös itse suodatinmateriaaleista voidaan ottaa näytteitä. Näytteistä voidaan analysoida biohiilen sitomien ravinteiden sekä haitta-aineiden määrää sekä arvioida suodattimien käyttöikä. Näytteitä otetaan suodatinmateriaalien eri syvyyksiltä, jolloin saadaan selville, mille syvyydelle eri aineet sitoutuvat. Otettuja näytteitä analysoidaan sisäisesti Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulun ympäristölaboratoriossa ja ulkoisesti Metropolilab Oy:n akkreditoitussa laboratoriossa.

Tutkimusta toteutetaan näytteenottojen ja laboratorioanalyysien lisäksi myös suoraan kentällä tehtävillä mittauksilla, joiden avulla kohteiden vedenlaadusta saadaan kattavampi yleiskuva. Vaikka anturitekologia mahdollistaa vain yksinkertaisen vedenlaatuparametrien tarkkailun, tulee niiden hyöty esille tulosten määrästä. Kenttämittauksien avulla kohteista saadaan näkyville pidemmän aikavälin muutoksia sekä poikkeustiloja, jotka jäisivät huomaamatta muutamia kertoja kuukaudessa tehtävällä näytteenotolla. Yhdistettynä näytteenotoista saatuihin kattavampiin tuloksiin kohteissa tapahtuvista muutoksista saadaan huomattavasti monipuolisempi kuva. Eri menetelmillä saatuja tuloksia vertaillaan keskenään, jolloin niiden luotettavuutta voidaan tarkkailla.

Hankkeessa kenttämittaukset suoritetaan YSI ProDSS -kenttämittarilla, jolla saadaan mitattua veden lämpötila, sähkönjohtokyky, pH, redox-potentiaali, liuennut happi sekä sameus. Kenttämittari antureineen kalibroidaan ja huolletaan kerran kuukaudessa sekä sen mittaustuloksia tarkkaillaan jatkuvasti käytön yhteydessä. Mittari puhdistetaan tislatulla vedellä ja tarkistetaan mittauspisteeltä toiselle siirtämisen yhteydessä. Kenttämittauksia suoritetaan Pitkäjärvellä viikoittain ja Ristiinassa kaksi kertaa viikossa. Ristiinan mittaukset tehdään kahdesti viikossa, koska järjestelmä ei ole käytössä talvella. Molemmissa kohteissa mittauspisteet on valittu puhdistusprosessin eri vaiheista, jolloin tuloksia tarkasteltaessa voidaan nähdä menetelmien vaikutus vedenlaadun muutoksissa.

Veden kemiallisten parametrien selvittämisen lisäksi tarkkaillaan kohteiden virtaamamääriä. Virtaamatiedon avulla saadaan parempaa kuvaa suodattimien puhdistustehosta sekä järjestelmien mitoituksesta ja toiminnasta. Mittaukset suoritetaan kohteiden alku- sekä loppupäästä astiamittauksella, jossa mitataan vesiastian täyttymiseen kuluvaa aikaa. Ristiinan suodatinkontin tulovesi mitataan astiamittauksen lisäksi järjestelmään asennetulla kiinteällä vesimittarilla, jonka tuloksia verrataan astiamittauksiin.

JATKUVATOIMINEN ONLINE-MONITOROINTI PITKÄJÄRVEN KOHTEESSA

Jatkuvatoimisen monitoroinnin avulla tuloksia saadaan automaattisesti halutuun aikaväliin, jolloin puhdistusprosessien seuranta tehostuu. Tällöin saadaan mitattua kaikki vedenlaatu-parametreissa tapahtuvat ilmiöt nopeista olosuhdevaihteluista pidemmän aikavälin muutoksiin. Tulokset saadaan myös etänä luettaviksi, mikä vähentää kustannuksia huomattavasti kenttäkäynteihin verrattuna. Automaattisten mittausten avulla myös virhetekijät vähenevät, koska kenttätyöskentelyssä on aina mukana inhimillinen virhe.

Hankkeen aikana Pitkäjärven hulevesien käsittelyjärjestelmään hankittiin kaksi kappaletta YSI EXO 3 -vedenlaatusondeihin perustuvia, jatkuvatoimisia monitorointiasemia, jotka otettiin käyttöön syyskuussa 2019. Asemat on sijoitettu järjestelmän ylä- sekä alajuoksulle, jolloin niiden avulla voidaan seurata hulevedessä tapahtuvaa muutosta puhdistusprosessin aikana. Yläjuoksun asema sijaitsee järjestelmän tulokaivossa ja edustaa järjestelmään tulevaa hulevettä, jota ei ole käsitelty biohiilellä. Alajuoksun asema sijaitsee järjestelmän poistopäässä ja edustaa huleveden laatua biohiilisuodatuksen jälkeen. Alajuoksun asemaa siirrellään suodatinkaivojen poistoputkien välillä, jolloin saadaan selville eri suodatinmateriaalien vaikutus vedenlaatuun.

Sondeissa on neljä anturipaikkaa sekä yksi paikka puhdistusharjalle. Puhdistusharjan avulla laitteisto pystyy toimimaan itsenäisesti pidempiä aikoja likaavissa vesissä. Antureiksi valittiin lämpötila/sähkönjohtokyky, pH, sameus sekä fDOM (fluoresoiva liuennut orgaaninen aines). Sondit ovat yhdistettyinä kuvassa 3 esitettyihin Keller ARC-1 Box -lähetinyksiköihin, jotka siirtävät tiedon pilvipalveluun tarkasteltavaksi. Laitteiden mittaustarkkuutta varmistetaan muilla mittalaitteilla ja näytteenotoilla erityisesti kalibrointien yhteydessä. Ravinteikkaissa ja paljon eliötoimintaa sisältävissä vesissä, kuten hulevesissä, anturit voivat ilman puhdistusharjoja likaantua muutamassa päivässä, jolloin niiden antamat mittaustulokset eivät enää ole luotettavia (Huttula ym. 2009). Laitteisto tarkistetaan ja puhdistetaan viikoittaisen kenttäkäynnin yhteydessä sekä kalibroidaan 4–10 viikon välein.



KUVA 3. EXO 3 -vedenlaatusondit (vasen) sekä ARC-1 Box -lähetinyksikkö (oikea). Laitteiden välillä on 10 metriä pitkä datakaapeli (kuva Aki Mykkänen).

Jatkuvatoiminen online-menetelmä mahdollistaa nopean reagoinnin ongelmatilanteisiin. Kun poikkeustilanne havaitaan, kohteesta voidaan lähteä suorittamaan tarkempia mittauksia ja näytteenottoja aiheuttajan selvittämiseksi. Mittalaitteiden mittaustaajuutta saadaan säädettyä monipuolisesti. Mittaukset pystytään tekemään halutuvin väliajoin, jolloin ainoa rajoittava tekijä on laitteiston virtalähteiden kapasiteetti. Esimerkiksi tekemällä mittaus tunnin välein kohteesta saadaan päivittäin valtava määrä dataa. Jatkuvatoimisten mittausasemien tulokset yhdistettynä näytteenotto-, kenttämittaus-, sää- ja virtaamatietoihin mahdollistavat järjestelmän puhdistustehon tutkimisen tarkemmin kuin pelkät näytteenotot.

SUODATINRATKAISUJEN MAHDOLLISUUDET

Tällä hetkellä eri puolilla Suomea meneillään olevat biohiiltä suodatinmateriaalina hyödynnettävät hankkeet ovat osoitus mielenkiinnosta materiaalia ja sen puhdistuskykyä kohtaan. Esimerkiksi Espoon Otsonlahden on rakennettu osana Kaupunkivesistöt kuntoon -hanketta biohiiltä hyödynnettävä suodatinratkaisu. Suodin on rakennettu nurmikentän alle siten, että se muuttaa Otsonlahden puiston ilmettä mahdollisimman vähän. Hulevesiratkaisu koostuu

virtauksensäätökaivosta, hiekanerottelukaivosta, hulevesikaseteista sekä biohiilisuodattimesta. (Espoo 2018, Kirjokivi 2018) Kuopiossa on vuosina 2017–2019 toteutettu Kiertotalouden materiaalit älykkäissä elementtisuodattimissa -hanke, jossa testattiin erilaisia materiaaleja ja hulevesiratkaisuja sekä mitattiin online-ratkaisuilla hulevesien laatua.

Biohiilipohjaiset suodatinratkaisut voisivat olla tulevaisuudessa myös kaupallinen vientituote. Ristiinan kohteeseen sijoitetun konttiratkaisun tyylinen järjestelmä olisi kustannustehokas suodatin asennettavaksi alueelle, jossa vesistöjen kuormitus tulee pistemäisistä päästölähteistä. Kontti voitaisiin kaivaa maan sisään, jolloin vettä ei tarvitse pumpata järjestelmään. Konttisuodatin on helppohuoltoinen ja vaatii lähinnä puhdistusta järjestelmän tukkeutuessa. Biohiilisuodattimia voitaisiin markkinoida ympäristöystävällisinä ja lähes hiilineutraaleina, koska suodatinmateriaali toimii hiilivarastona. Biohiilihankkeiden avulla löydettävät uudet käsittelyratkaisut ja niiden soveltamismahdollisuudet voivat tulevaisuudessa vähentää hulevesistä aiheutuvat kuormat sellaiselle tasolle, että vesistöjen vedenlaadun heikkeneminen vähenee.

LÄHTEET

Ahdelma, J. 2018. Hulevesivalumat uhkaavat pilata luonnonvesiä. Länsi-Savo 22.11.2018. Espoo 2018. Espoon Otsolahteen hulevesien laatua parantava biosuodatusrakenne.

Huttula, T., Bilaletdin, E., Härmä, P., Kallio, K., Linjama, J., Lehtinen, K., Luotonen, H., Malve, O., Vehviläinen, B. & Villa, L. 2009. Ympäristön seurannan menetelmien kehittäminen, Automatisointi ja muut uudet mahdollisuudet. Suomen ympäristökeskuksen raportteja 13/2009. Suomen ympäristökeskus. PDF-dokumentti. Saatavissa: https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/39796/SYKEra_13_2009.pdf?sequence=1

Karosto, K. (toim.) 2016. Biosuodattimet metsätalouden vesiensuojelussa. Mikkelin ammattikorkeakoulu.

Kirjokivi, T. 2018. Biohiilisuodatin hulevesien käsittelyssä – Case Espoo Otsolahti. Opinnäytetyö, Lahden ammattikorkeakoulu, Ympäristötekniikka.

Laurila, N. (toim.) 2019. Biohiilellä puhtaampi ympäristö ja uutta liiketoimintaa Etelä-Savoon. Xamk Kehittää 74, Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu.

Mikkelin kaupunki 2019. Hulevesien käsittelyn T&K-ympäristö -investointihanke. Saatavissa: <https://www.mikkeli.fi/sisalto/tietoja-mikkelista/hankkeet-ja-projektit/hulevesien-kasittelyn-tk-ymparisto-investointihanke>

Saarelainen, JP. 2019. Vahanen Oy. Leikkaukset ja detaljit suotovesien biosuodatuslaitteisto.

Stenström, Y. 2017. Phosphorus and nitrogen removal in modified biochar filters. Saatavissa: http://www.w-program.nu/filer/exjobb/Ylva_Stenstr%C3%B6m.pdf [viitattu: 19.12.2019]

Vuori, E. 2017. Ihmeaine biohiili. Puutarha & kauppa. Nro 5/2017. Saatavissa: <https://www.puutarhakauppa.fi/index.php/uusin-juttu/79-ihmeaine-biohiili>

EKOTOKSISUUSTESTEILLÄ VARMISTETAAN BIOHIILEN TURVALLINEN KÄYTTÖ

Vuokko Malk & Vy Do

Perinteisen metsä- ja paperiteollisuuden murroksessa tarvitaan uusia korkean jalostusasteen biotuotteita ja sivuvirtojen hyödyntämistä. Yksi mahdollisuus on hyödyntää sivuvirtoja, kuten sahanpurua, biohiilen raaka-aineena (kuva 1). Biohiilellä on lukuisia eri käyttömahdollisuuksia, joista yleisimpiä ovat käyttö erilaisissa kasvualustoissa, suodattamisessa ja hiilensidonnassa. Biohiilien ominaisuudet vaihtelevat huomattavasti raaka-aineesta ja valmistusprosessista riippuen. Joissakin tapauksissa raaka-aineen sisältämät mahdolliset haitta-aineet voivat rikastua biohiileen, tai itse pyrolyysiprosessissa voi syntyä haitallisia yhdisteitä. Tuotteiden ominaisuudet ja vaikutukset onkin syytä tutkia tarkasti ennen laajamittaista käyttöä. Kemiallisten analyysien rinnalla ekotoksisuustestit antavat tietoa muun muassa eri haitta-aineiden yhteisvaikutuksesta ja biosaatavuudesta, ja näin ne tukevat laadunvalvontaa.

Bioproduct and Clean Bioeconomy – RDI FlagShip in Xamk -hankkeessa lisätään biotalouteen ja biotuotteisiin liittyvää TKI-toimintaa, päivitetään tutkimuslaitteistoa ja kehitetään uusia tuotteita ja prosesseja. Hankkeen yhtenä osa-alueena on biohiilitutkimus, joka toteutetaan yhteistyössä Luonnonvarakeskuksen (Luke) kanssa. Hanketta (1.10.2018–31.12.2021) rahoittaa opetus- ja kulttuuriministeriö.

BIOHIILEN MONET MAHDOLLISUUDET

Biohiilen käyttö maanparannusaineena perustuu muun muassa sen kykyyn parantaa ravinteiden ja veden pidätystä, kohottaa maan pH-arvoa ja stimuloida mikrobitoimintaa (kuva 1). Tosin vaikutukset riippuvat aina biohiilen ja maaperän ominaisuuksista sekä eliölajistosta ja ilmasto-olosuhteista (Tammeorg ym. 2014). Suodatinratkaisuissa biohiili taas voi pidättää muun muassa hulevesistä ravinteita ja haitta-aineita. Lisäksi biohiiliä voidaan hyödyntää esimerkiksi lääke-, kosmetiikka- ja metalliteollisuudessa sekä pilaantuneen maaperän tai sedimentin puhdistuksessa. Monissa lupaavissa biohiilen sovelluskohteissa ollaan kuitenkin vasta tutkimusasteella. Biohiilellä on roolinsa myös ilmastonmuutoksen hillinnässä. Biomassan sisältämä hiili voidaan varastoida biohiilen mukana maaperään ja näin estää hiilidioksidia vapautumasta ilmakehään. Näin se toimii hiilivarastona satoja tai tuhansia vuosia. (Suomen Biohiilyhdistys)

Biohiiliä on monenlaisia, eivätkä kaikki biohiilet sovellu kaikkiin käyttökohteisiin. Biohiilen ominaisuuksiin voidaan vaikuttaa raaka-aineella, lisäaineilla ja valmistusprosessilla (Suomen Biohiiliyhdistys).



KUVA 1. Biohiilellä on paljon lupaavia käyttökohteita, mutta sen ominaisuudet ja vaikutukset on tutkittava huolellisesti (kuva Manu Eloaho).

BIOHIILEN LAADUNVARMISTUS

Maanparannuskäyttöön tarkoitettujen biohiilien osalta on tärkeää varmistaa, että biohiilen ominaisuudet ovat juuri maan ominaisuuksia parantavia eikä biohiili esimerkiksi sisällä eliöille haitallisia aineita. Myös biohiilisuodattimissa on tärkeä varmistaa, ettei biohiilestä itsestään liukene veteen haitallisia aineita. Pyrolyysiprosessissa raaka-aineen sisältämät mahdolliset myrkylliset aineet voivat rikastua prosessin tuotteena syntyvään biohiileen, tai itse prosessissa voi syntyä haitallisia PAH-yhdisteitä ja dioksiineja (Domene ym. 2015). Myös haihtuvat orgaaniset yhdisteet (VOC) voivat tiivistyä uudelleen pyrolyysiprosessin aikana biohiileen. Nämä yhdisteet voivat olla helposti liikkuvia ja kasveille haitallisia (Buss & Mašek 2014).

Biohiilituotteiden laatua ohjataan ohjeilla ja standardeilla, joita ovat esimerkiksi Euroopan biohiilsertifikaatti (EBC 2012), kansainvälinen IBI (International Biochar Initiative, IBI 2015) ja Isossa-Britanniassa laadittu BQM (UK Biochar Quality Mandate) (Shackley ym. 2013). Ohjeissa on annettu arvoja biohiilen ominaisuuksille, esimerkiksi pH:lle, ravinnepitoisuuksille, vedenpidätyskyvylle, ominaispinta-alalle, sekä haitta-ainepitoisuuksille, kuten raskasmetalleille, dioksiineille ja furaneille sekä PAH-, PCB- ja BTEX-yhdisteille.

EKOTOKSIKOLOGIA KEMIALLISTEN ANALYYSIEN TUKENA

Kemiallisten analyysien tuloksena saadut haitta-ainepitoisuudet eivät vielä kerro yhdisteiden biosaatavuudesta tai yhteisvaikutuksista. Esimerkiksi sitoutuminen orgaaniseen aineeseen vähentää haitta-aineiden biosaatavuutta, jolloin kemiallisessa analyysissä määritetystä pitoisuudesta mahdollisesti vain osa on eliöille saatavilla olevassa ja haitallisessa muodossa. Toisaalta biohiili saattaa myös sisältää muita kuin kemiallisissa analyyseissä määritettyjä haitta-aineita, ja myrkyllisten aineiden vaikutukset ympäristössä voivat vaihdella paikka-kohtaisten olosuhteiden ja eliölajiston mukaan. Ekotoksisuustesteillä voidaan täydentää fysikaalis-kemiallisia analyysejä ja varmistaa tuotteiden turvallinen käyttö. Toistaiseksi ainoastaan IBI-standardi (IBI 2015) sisältää itämistestin, mutta muihin biohiilen laatus-tandardeihin ja -ohjeistuksiin biotestejä ei ole sisällytetty. Useissa julkaisuissa on kuitenkin suositeltu ekotoksisuuden testaamista ennen biohiilen käyttöä maanparannuksessa (mm. Oleszuc ym. 2013, Domene ym. 2015).

Tyypillisesti ekotoksisuuden selvittämiseksi suositellaan testejä eri trofiatasoja edustavilla eliölajeilla. Esimerkiksi maaperän toksisuuden arvioimiseksi suositellaan testejä vähintään yhdellä mikrobiprosessia, kasvikuntaa ja eläinkuntaa edustavalla lajilla. Testit maaperän vesiutteilla kertovat mahdollisesta riskistä pohja- tai pintavesille. (SFS-ISO 15799)

Biohiilillä tehtyjä tyypillisiä toksisuustestejä ovat olleet muun muassa lieroilla tehdyt välttelytestit (mm. Tammeorg ym. 2014, Hagner ym. 2016, Sanchez-Hernandez ym. 2019, Prodana ym. 2019) ja kasvien itämiskokeet (mm. Oleszczuk ym. 2013, Hagner ym. 2016, Stefaniuk ym. 2016, Wang ym. 2016). Toksisuusvaikutuksia on tutkittu myös muilla maaperäeliöillä, kuten sukkulamadoilla (mm. Wang ym. 2016, Hagner ym. 2016) ja hyppyhäntäisillä (mm. Domene ym. 2015, Stefaniuk ym. 2016, Prodana ym. 2019). Maaperämikrobeilla on tutkittu muun muassa vaikutusta maahengitykseen (Domene ym. 2015, Hagner ym. 2016). Toksisuustestejä on tehty myös vesiympäristön eliöillä, kuten vesikirpuilla (Oleszczuk ym. 2013, Prodana ym. 2019) ja valobakteereilla (Oleszczuk ym. 2013, Lyu ym. 2016, Stefaniuk ym. 2016, Prodana ym. 2019). Useimmissa tutkimuksissa ekotoksisuustestejä on tehty monella eri eliölajilla.

BIOHIILIEN TOKSISUUSVAIKUTUKSIA

Biohiilen ekotoksisuustutkimuksissa on selvitetty muun muassa pyrolyysilämpötilan, raaka-aineen, annosmäärän sekä partikkelikoon vaikutusta toksisuuteen. Mitä korkeampi on pyrolyysiprosessin lämpötila ja aika, sitä vähemmän biohiilessä tavallisesti esiintyy myrkyllisiä PAH-yhdisteitä, dioksiineja ja furaaneja. Korkean pyrolyysilämpötilan (> 400 °C) on myös havaittu vähentävän näiden haitta-aineiden biosaatavuutta ja toksisuutta biohiilessä (Lyu ym. 2016, Wang ym. 2017, Hale ym. 2012). Eri tutkimuksissa on kuitenkin saatu eri-

laisia tuloksia. Joissain tutkimuksissa PAH-pitoisuus kasvoi pyrolyysilämpötilan kasvaessa, tosin tällöinkin biosaatavuus laski (Wang ym. 2017). Hagnerin ym. (2016) tutkimuksessa pyrolyysilämpötila vaikutti toksisuuteen itämistestissä, mutta viiden viikon altistuksen jälkeen lämpötilan vaikutukset maaperän ominaisuuksiin, kasveihin ja maaperäeliöihin olivat marginaalisia.

Raskasmetalleilla pitoisuuksien on havaittu nousevan pyrolyysiprosessin aikana raaka-aineseen verrattuna, mutta samalla niiden biosaatavuus ja toksisuus kuitenkin laskivat. Samoin kuin esimerkiksi PAH-yhdisteillä, biosaatavuus ja toksisuus laskivat erityisesti korkeissa pyrolyysilämpötiloissa (Wang ym. 2016, Zeng ym. 2018).

Raaka-aineella voi olla vaikutusta biohiilen toksisuuteen. Esimerkiksi ruokajätteestä valmistettu biohiili aiheutti haittavaikutuksia maaperäeliöille korkeiden Na- ja NH₄-pitoisuuksien vuoksi (Domene ym. 2015). Ruokajätteen sisältämä suola ja kloori-ionit edistävät myös dioksiinien muodostumista pyrolyysiprosessissa (Hale ym. 2012). Wangin (2016) tutkimuksessa lääkekasvinakin käytetystä kalmojuuresta (*Acorus calamus*) valmistettu biohiili aiheutti selviä toksisuusvaikutuksia niin bakteereille, maaperäeliöille kuin kasveille, kun taas riisinkuorista ja sahanpurusta valmistetuilla biohiilillä toksisuusvaikutuksia ei havaittu.

Korkea annosmäärä voi aiheuttaa haittavaikutuksia eliöille (Domene ym. 2015, Hagner ym. 2016). Toisaalta partikkelikoollakin voi olla vaikutusta. Prodanan ym. (2019) tutkimuksessa lierot välttelivät syömästä maata, jossa biohiilen partikkelikoko oli alle 0,5 mm. Lisäksi altistuminen haitta-aineille oli voimakkaampaa sekä ravinnon välityksellä että ihon kautta. Tuloksena ruumiinpaino laski ja naftaleeni-tyyppisten aineenvaihduntatuotteiden kudospitoisuudet kohosivat.

Toksisuusvaikutusten lisäksi biohiilellä voi olla myös epäsuoria haittavaikutuksia maaperäeliöihin. Biohiilien voimakas vedenpidätys (mm. Tammeorg ym. 2014), maaperän rakenteen muutokset (Sanchez-Hernandez ym. 2019) tai suolapitoisuuden nousu (Domene ym. 2015) voivat aiheuttaa haittavaikutuksia eliöille.

Yhteenvetona voidaan todeta, että biohiilen vaikutukset maaperän toimintaan ja eliöstöön ovat monimutkaisia ja riippuvat paljon paitsi biohiilen myös maaperän ja ympäristön olosuhteista sekä lajistosta. Tutkimusten perusteella ei voida antaa yksiselitteistä arviota esimerkiksi pyrolyysilämpötilan tai raaka-aineen vaikutuksesta biohiilen toksisuuteen. Useimmissa tapauksissa biohiilen toksisuusvaikutukset ovat olleet vähäisiä mutta joissakin tapauksissa huomattavia. Tuotteiden vaikutukset onkin syytä varmistaa ennen laajamittaista käyttöä.

EKOTOKSISUUSTESTAUKSIA YMPÄRISTÖLABORATORIOSSA

Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulun Mikkelin kampuksen ympäristölaboratoriossa testattiin biohiilisuodattimien vaikutusta hulevesien toksisuuteen *Vibrio fischeri* -valobakteeritestillä. Samaa testiä käytettiin myös eri raaka-aineista valmistettujen biohiilien toksisuusvaikutusten vertailuun.

Vibrio fischeri on meriympäristön luminisoiva bakteeri, jota on laajasti käytetty ekotoksisuustesteissä. Haitta-aineet aiheuttavat valontuoton heikkenemisen, joka voidaan mitata luminometrillä. Testin on todettu osoittavan hyvin erityyppisten haitta-aineiden toksisuuden. Lisäksi sen on havaittu korreloivan korkeammilla eliölajeilla (esim. kalat) tehtyjen toksisuustestien kanssa, mutta sen toteuttaminen on eettisesti hyväksyttävämpää. Testin toteuttaminen on myös nopeaa ja kustannustehokasta. (Parvez ym. 2006)

Testit toteutettiin standardin ISO 11348-3 mukaisesti käyttämällä Biotox-kittiä (Aboatox Oy, Turku). Pitkäjärven biohiilisuodattimista testattiin jakokaivoon tuleva käsittelemätön hulevesi sekä viidellä eri suodattimella suodatettu hulevesi. Missään vesinäytteissä ei havaittu toksisuutta, eli hulevesi itsessään ei sisällä myrkyllisiä pitoisuuksia haitta-aineita eikä niitä myöskään liukene veteen biohiilisuodattimista.

Eri raaka-aineista valmistettujen biohiilien vertailussa oli mukana eri puulajeista, lannasta ja puhdistamolietteestä valmistettuja biohiiliä. Eri biohiilet oli pyrolysoitu 420–550 °C lämpötilassa. Lannasta ja puhdistamolietteestä valmistetut biohiilet saatiin testeihin Luonnonvarakeskuksesta. Puuperäiset biohiilet olivat Pitkäjärven hulevesisuodattimissa käytettyjä biohiiliä. Toksisuustestiä varten biohiilistä valmistettiin vesiuutteita. Testatuilla biohiilillä havaittiin korkeintaan lieviä toksisuusvaikutuksia. Eri hiilien turvallisuus esimerkiksi maanparannuskäytössä tulee kuitenkin tutkia maaperäeliöillä realistisilla annosmäärillä mielellään kenttäolosuhteissa. Luonnonvarakeskus onkin tehnyt biohiilillä itämiskokeita, ja kenttäkokeissa tutkitaan biohiilten vaikutuksia maaperäeliöihin.

LÄHTEET

Buss W & Mašek O 2014. Mobile organic compounds in biochar – A potential source of contamination – Phytotoxic effects on cress seed (*Lepidium sativum*) germination. *Journal of Environmental Management* 137: 111–119.

Domene X, Enders A, Hanley K, Lehmann J 2015. Ecotoxicological characterization of biochars: Role of feedstock and pyrolysis temperature. *Science of the Total Environment* 512–513: 552–561.

EBC 2012. European Biochar Certificate - Guidelines for a Sustainable Production of Biochar. European Biochar Foundation (EBC), Arbaz, Switzerland. Version 8.3E of 1st September 2019, DOI: 10.13140/RG.2.1.4658.7043 Saatavissa: <http://www.european-biochar.org/biochar/media/doc/ebc-guidelines.pdf>

Hagner M, Kemppainen R, Jauhiainen L, Tiilikkala K, Setälä H 2016. The effects of birch (*Betula* spp.) biochar and pyrolysis temperature on soil properties and plant growth. *Soil & Tillage Research* 163: 224–234.

Hale S, Lehmann J, Rutherford D, Zimmerman A, Bachmann R, Shitumbanuma V, O'Toole A, Sundqvist K, Arp H & Cornelissen G 2012. Quantifying the Total and Bioavailable Polycyclic Aromatic Hydrocarbons and Dioxins in Biochars. *Environmental Science & Technology*, 46(5): 2830–2838.

IBI (International Biochar Initiative) 2015. Standardized Product Definition and Product Testing Guidelines for Biochar That Is Used in Soil. Saatavissa: https://biochar-international.org/wp-content/uploads/2019/01/IBI_Biochar_Standards_V2.1_Final1.pdf.

Lyu H, He Y, Tang J, Hecker M, Liu Q, Jones PD, Codling G & Giesy JP 2016. Effect of pyrolysis temperature on potential toxicity of biochar if applied to the environment. *Environmental pollution* 218: 1–7.

Oleszczuk P, Joško I & Kuśmierz M 2013. Biochar properties regarding to contaminants content and ecotoxicological assessment. *Journal of Hazardous Materials* 260: 375–382.

Parvez S, Venkataraman C & Mukherji S 2006. A review on advantages of implementing luminescence inhibition test (*Vibrio fischeri*) for acute toxicity prediction of chemicals. *Environment International* 32: 265–268.

Prodana M, Silva C, Gravato C, Verheijen F, Keizer J, Soares A, Loureiro S & Bastos A 2019. Influence of biochar particle size on biota responses. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 174: 120–128.

Sanchez-Hernandez J, Ríos J, Attademo A, Malcevschi A & Andrade Cares X 2019. Assessing biochar impact on earthworms: Implications for soil quality promotion. *Journal of Hazardous Materials* 366: 582–591.

SFS-EN ISO 11348-3 Water quality. Determination of the inhibitory effect of water samples on the light emission of *Vibrio fischeri* (Luminescent bacteria test). Part 3: Method using freeze-dried bacteria (ISO 11348-3:2007). Suomen Standardisoimisliitto SFS.

SFS-ISO 15799:2019. Soil quality. Guidance on the ecotoxicological characterization of soils and soil materials. Suomen Standardisoimisliitto SFS ry.

Shackley S, Ibarrola Esteinou R, Hopkins D & Hammond J 2014. Biochar Quality Mandate (BQM) version 1.0. British Biochar Foundation.

Stefaniuk M, Oleszczuk P, Bartmiski P 2016. Chemical and ecotoxicological evaluation of biochar produced from residues of biogas production. *Journal of Hazardous Materials* 318: 417–424.

Suomen Biohiiliyhdistys. Mitä biohiili on? WWW-sivu. Saatavissa: <https://www.suomen-biohiili.fi/biohiili/>. Viitattu 30.10.2019.

Tammeorg P, Parviainen T, Nuutinen V, Simojoki A, Vaara E, Helenius J 2014. Effects of biochar on earthworms in arable soil: avoidance test and field trial in boreal loamy sand. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 191: 150–157.

Wang Y, Jing X, Li L, Liu W, Tong Z & Jiang H 2016. Biototoxicity Evaluations of Three Typical Biochars Using a Simulated System of Fast Pyrolytic Biochar Extracts on Organisms of Three Kingdoms. *ACS Sustainable Chemistry & Engineering*, 5(1), 481–488.

Wang C, Wang Y & Herath H.M.S.K. 2017. Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in biochar – Their formation, occurrence and analysis: A review. *Organic Geochemistry* 114: 1–11.

Zeng X, Xiao Z, Zhang G, Wang A, Li Z, Liu Y, Wang H, Zeng Q, Liang Y & Zou D 2018. Speciation and bioavailability of heavy metals in pyrolytic biochar of swine and goat manures. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis* 132: 82–93.

DEMONSTRAATIOKOKKEET TÄYS- MITTAKAAVAN LAITOKSELLA JA SEKOITUSMENETELMÄT

Tiina Saario & Hanne Soininen & Sami Mörsky & Juha Luostarinen

Biokaasutuotantoprosessin sekoittaminen on yksi tärkeimmistä osa-alueista, kun arvioidaan prosessin kustannus- ja energiatehokkuutta. Epäsopivalla tai riittämättömällä sekoituksella biokaasulaitoksen kaasuntuotanto voi laskea merkittävästi esimerkiksi sedimentin muodostumisen tai flokkien rikkoontumisen takia. Siksi on tärkeää löytää sekoitusmenetelmä, joka on soveltuva sekä reaktoriteknologialle että syötemateriaaleille ja mädätteelle. Sekoitusten tuleekin olla myös energia- ja kustannustehokas.

Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulun (Xamk) toteuttaman GasOpti- Kaasujen hallinnan älykkäät sovellukset biojalostamo- ja vesiprosesseissa -hankkeen rahoittajina ovat Business Finland Euroopan aluekehitysrahasto sekä Andritz Oy, Janesko Oy, Carbonreus Finland Oy, Pixact Oy, Solenis Finland Oy, Metsäsairila Oy ja Juvan Bioson Oy. Hanke toteutettiin 1.1.2018–31.12.2019.

MÄRKÄMENETELMÄN SEKOITTAMINEN

Anaerobisen biokaasureaktorin kunnollinen sekoitus on erittäin tärkeää. Sen avulla voidaan parantaa raakamateriaalin ja entsyymien sekä mikrobien välistä kontaktia ja jakautumista reaktorissa. (Mata-Alvarez 2000) Lisäksi sekoittamisella varmistetaan, että kaikkialla reaktorimädätteessä vallitsee sama lämpötila eikä syötemateriaali pääse sellaisenaan reaktorista läpi. Sekoitus voidaan suorittaa muun muassa:

- mekaanisilla sekoituslavoilla
- kierrättämällä liuosta
- kaasusekoituksella.

Usein käytössä on edellä mainittujen menetelmien yhdistelmiä. Mädätysreaktorin kaasusekoitus voidaan toteuttaa laitoksen tuottamalla biokaasulla. Kaasun syöttö tapahtuu reaktorin pohjalta, jotta sen luoma noste ja sekoitusvaikutus pitävät kiintoaineen dispergoituna liuokseen. (Seyssiecq et al. 2003)

Suuri merkitys on myös sekoituksen oikealla suuntauksella. Satjaritanun et al. (2016) ovat osoittaneet tutkimuksessaan, että nesteen nopeudella ja suunnalla on merkittävä vaikutus sekoituksen ominaisuuksiin elefanttiheinää käyttävässä, jatkuvalla sekoituksella toimivassa reaktorissa. Merkittäviä nesteen suuntaan ja sekoitukseen vaikuttavia tekijöitä olivat propellit, ohjauslevyt ja sekoitusnopeus. Ohjauslevyjen tuplapropellit tuottivat parhaan sekoitustehokkuuden, mutta ne myös kuluttivat enemmän energiaa. (Satjaritanun et al. 2016)

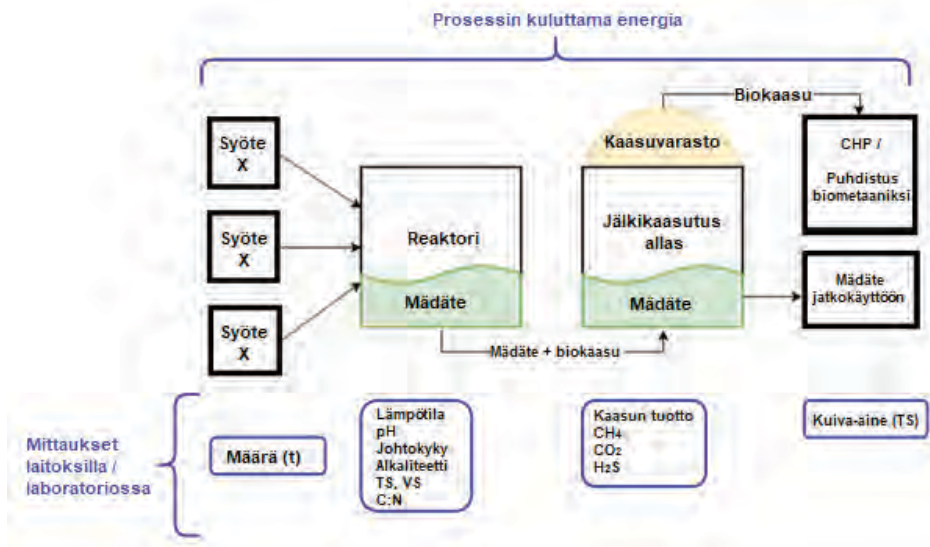
SEKOITUKSEN HAASTEET JA VAATIMUKSET

Märkämenetelmään pohjautuvan biokaasureaktorin sekoittamiseen liittyy useita haasteita. Mädätteen tai syötteen ominaisuuksien muuttuessa muuttuu myös sekoitukseen liittyvät vaatimukset. Esimerkiksi viskositeetin kasvu voi kuormittaa moottoria. Toisaalta väärin suunnatut tai kohteeseen soveltumattomat sekoittajat voivat myös haitata reaktorin toimintaa. Esimerkiksi märkäreaktorin rikinpoistokerros on herkkä sekoitukselle. Liian voimakas sekoitus tai kerroksen yläpuolelle yltävät sekoituslavat voivat rikkoa kerroksen, jolloin sen toiminta heikkenee.

Toinen merkittävä haaste on märkäreaktoreiden pohjasedimentti. Jos reaktorin pohjalle on kertynyt paksu kerrostuma, hyvin asettunut pohjasakka vaatii erittäin suuren leikkaavan voiman liikkuaakseen. Tämä saattaa onnistua suunnatulla sekoittimella tai erittäin voimakkaalla liuos- tai kaasuvirralla. Muussa tapauksessa poistaminen joudutaan tekemään mekaanisesti. Riskinä sekoituksen tehostuksessa on kuitenkin flokkien rikkoontuminen ja tätä kautta kaasuntuotannon heikkeneminen.

Märkämenetelmään pohjautuvan reaktorin sisällön sekoittaminen ja lämmitys vievät suuren osan laitoksen energiakulutuksesta, mikä heikentää laitoksen tuottavuutta. Dachs ja Rehm (2006) ovat todenneet, että biokaasulaitoksen käyttämästä energiasta jopa 54 prosenttia saattaa kuluu pelkästään reaktorimädätteen sekoittamiseen. Toisaalta, jos reaktorin sisältöä ei sekoiteta mitenkään, bakteerit eivät pääse kosketuksiin uuden syötteen kanssa ja päätyvät reaktorin pohjaosaan. Tällöin metaanin tuotanto vähenee ja lopulta ehtyy kokonaan. (Kowalczyk et al. 2013)

Sekoituksen tehostaminen voi kasvattaa reaktorin hyötysuhdetta. GasOpti-hankkeessa toteutettiin demonstraatiosekoituskoe märkämenetelmään pohjautuvalla biokaasulaitoksella (kuva 1). Kokeessa pyrittiin selvittämään kaasusekoituksen vaikutusta normaalisti mekaanisesti sekoitettavan mädätteen ominaisuuksiin sekä kaasuntuotantoon.



KUVA 1. Biokaasuprosessin energiankulutus ja monitorointi.

DEMONSTRAATIOKOE BIOKAASULAITOKSELLA

Tutkimuksessa tehtiin kaasusekoituskoee Juvan Bioson Oy:n biokaasulaitoksella. Biokaasulaitos pohjautuu märkämenetelmään, ja siinä on jatkuvatoiminen prosessi. Laitoksen pääsyötteet ovat karjan lietelanta, kanan lanta ja paikallisen elintarviketeollisuuden sivuainevirrat. Reaktorin viipymä on noin 21 vuorokautta, ja sen reaktorin lämpötila on mesofiilisellä alueella. Laitoksen reaktorissa on normaalisti käytössä kaksi mekaanista sekoitinta. Reaktorin pohjassa on valmiina kaasusekoitusputkisto, mutta se ei ole ollut käytössä laitoksen reaktorin sekoittamiseen. Demonstraatiokokeen kaasusekoitusosio kilpailutettiin ja siihen valittiin toteuttajaksi Metener Oy.

Kaasusekoituksen demonstraatiokoe kesti yhteensä kolme vuorokautta. Kaasusekoituskoee suoritettiin siten, että reaktorista johdettiin metaania sisältävää biokaasua kaasukompressoriin, jossa kaasu paineistettiin. Sieltä kaasu johdettiin jäähdyttimen kautta reaktorin alaosassa sijaitsevien kaasusekoitusputkien kautta reaktoriin (kuva 2). Reaktorin pohjassa on 15 kaasusekoitusputkea. Tässä demonstraatiokokeessa päädyttiin johtamaan kaasua reaktoriin vain yhdestä putkesta kerrallaan. Kokeen aikana käytettiin lisäksi myös laitoksen mekaanisia sekoittimia normaalisti.

Kaasua syötettiin kunkin putken kautta reaktoriin noin 20–30 minuuttia kerrallaan. Tämän jälkeen kaasun syöttöletku vaihdettiin seuraavaan putkeen. Kaasun syöttönopeus oli noin 1 m³/min.

Koepäivien aikana reaktorista otettiin mädätenäyte kolme kertaa päivässä. Näytteestä analysointiin pH, johtokyky, alkaliteetti sekä kuiva-aine (TS%)- ja orgaanisen aineen pitoisuus (VS%). Kaasusuodatuksessa käytetystä raakakaasusta sekä varastoidusta suodattamattomasta ja suodatetusta tuotekaasusta analysoitiin rikkivety-, metaani-, happi- ja hiilidioksidipitoisuudet. Jotta kaasusekoituskokeen vaikutukset nähtiin selkeämmin, bio-kaasulaitoksen mädätettä ja tuotekaasua oli monitoroitu useamman kuukauden ajan ennen suodatuskoetta ja monitorointia jatkettiin myös kokeen jälkeen.



KUVA 2. Periaatekuva demonstraatiokokeesta.

SEKOITUSKOKEEN VAIKUTUS MÄDÄTTEEN OMINAISUUKSIIN

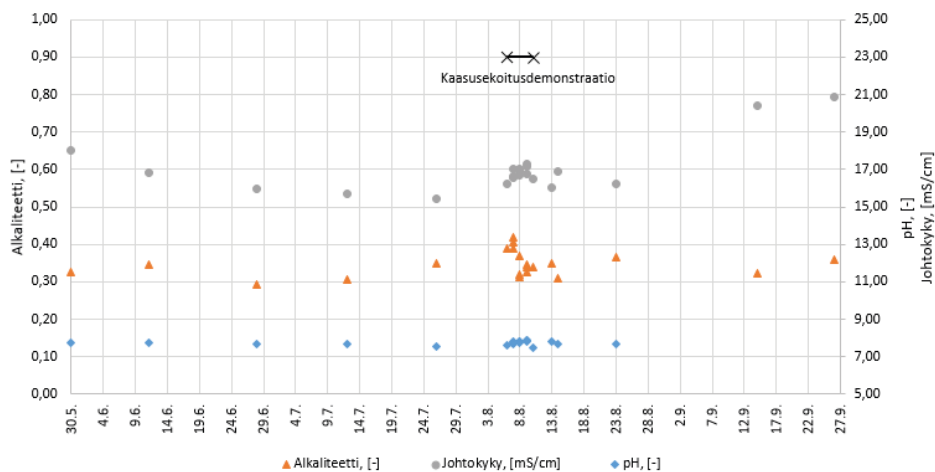
Kaasusekoitus vaikutti mädätteen alkaliteettiin (taulukko 1). Kokeita edeltävänä päivänä alkaliteetti oli 0,39, kun taas kokeiden aikana alkaliteetti vaihteli 0,31–0,42. Kokeen jälkeisenä päivänä alkaliteetti pieneni 0,34. Myös johtokyvyssä näkyi selkeitä vaihteluita kokeen aikana verrattuna koetta edeltävään ja seuraavaan päivään. Mädätteen pH-arvoon ei kaasusekoituskokeella ollut selkeää vaikutusta.

Kuiva-aine- ja orgaanisen aineen pitoisuuksissa näkyi muutos kokeen aikana (taulukko 1), mutta se ei ollut merkittävä. Sekoituskokeen aikana molemmat pitoisuudet kasvoivat jonkin verran.

TAULUKKO 1. Mädätteen ominaisuudet sekoituskokeen aikana (keskiarvo, min. ja maks.) sekä kokeita edeltävänä että seuraavana päivänä.

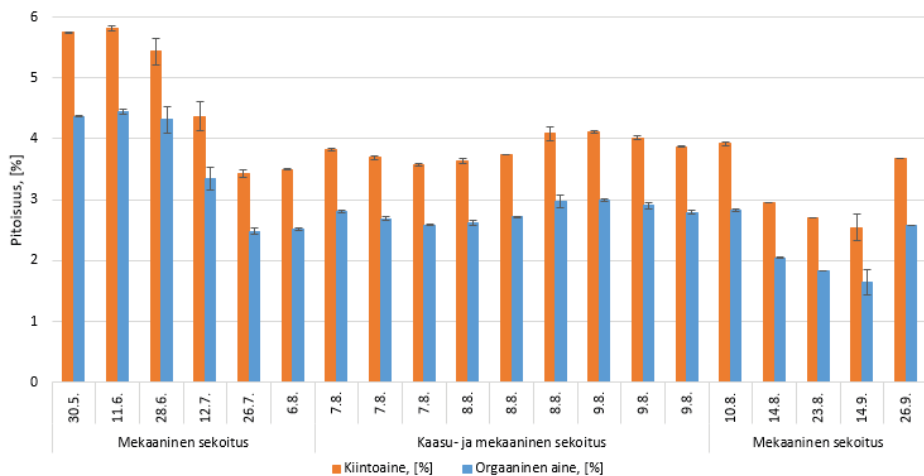
Mittaus- ajankohta		Alkaliteetti -	pH -	Johtokyky mS/cm	TS %	VS %
Ennen kokeita		0,39	7,64	16,26	3,49	2,52
Kokeiden aikana	Keskiarvo	0,36	7,80	16,89	3,84	2,79
	Min.	0,31	7,87	16,55	3,58	2,58
	Maks.	0,42	7,70	17,24	4,10	2,99
Kokeiden päätyttyä		0,34	7,52	16,49	3,92	2,83

Kaasusekoitus vaikutti mädätteen johtokykyyn sekä alkaliteettiin. Jos tuloksia katsotaan pitkällä aikavälillä (kuva 3), nähdään vaihtelua arvoissa myös laitoksen ollessa normaalissa ajossa. Mädätteen ominaisuuksiin vaikuttavat sekoituksen lisäksi esimerkiksi syötettävä orgaaninen materiaali ja sen laatu, sen syöttömäärä (OLR), viipymä (HRT) ja reaktorin prosessiolosuhteet.



KUVA 3. Mädätteen ominaisuudet pitkällä aikavälillä ja sekoituskokeen aikana.

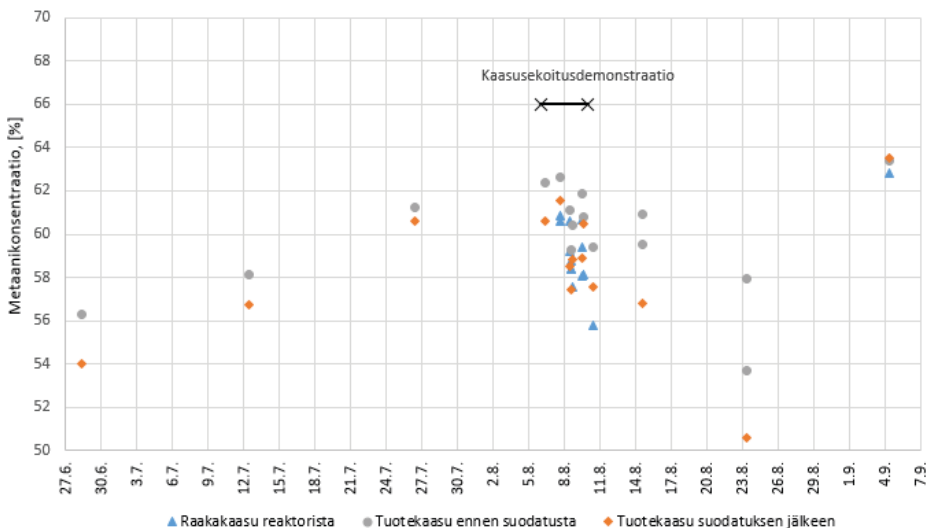
Kuiva-aine- ja orgaanisen aineen pitoisuuksien nousu selittynee sekoituksen tehostumisella. Reaktorin pohjalle kertynyt laskeutunut kiintoaine pääsi liikkeelle sekoituksen parantuessa ja nosti mahdollisesti sitä kautta TS- ja VS-pitoisuuksia. Kuiva-aineen ja orgaanisen aineen pitoisuudet kuitenkin laskivat muutamassa päivässä kokeen loputtua (kuva 4). Pitkällä aikavälillä tarkasteltuna laitoksen TS- ja VS-pitoisuuksissa tapahtuu selkeää vaihtelua. Kuten johtokykyyn ja alkaliteettiin, myös näihin vaikuttavat muun muassa käytetyt syötteet, niiden määrät, viipymä ja prosessiolosuhteet.



KUVA 4. Mädetteen kuiva-aineen ja orgaanisen aineen pitoisuudet pitkällä aikavälillä sekä sekoituskokeen aikana.

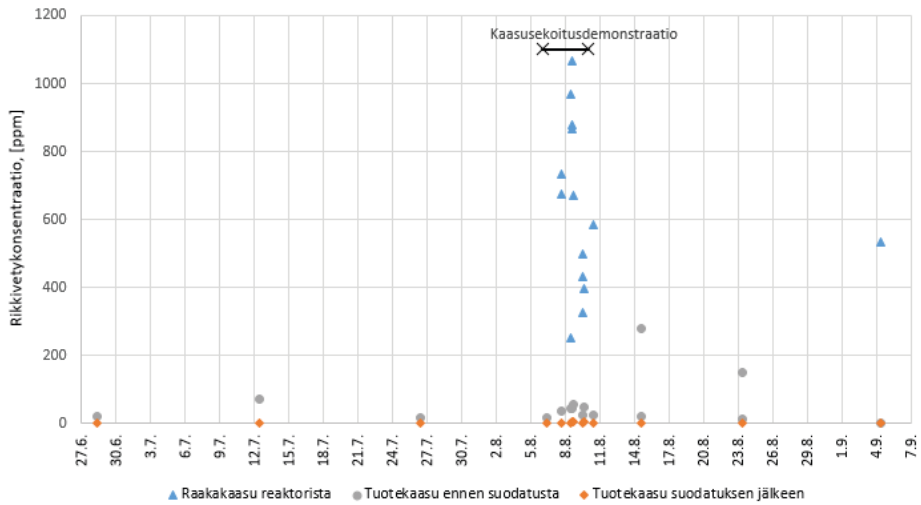
SEKOITUSKOKEEN VAIKUTUS KAASUN OMINAISUUKSIIN

Käsittelemättömän, suoraan reaktorista johdetun raakakaasun käyttö mädetteen sekoituksessa nosti hieman laitoksen tuottaman biokaasun metaanipitoisuutta (kuva 5). Tämä näkyi erityisesti ennen aktiivihiilisuodatinta mitatun tuotekaasun pitoisuuksissa. Demonstraatio-kokeen päätyttyä metaanipitoisuus laski sekä raaka- että tuotekaasuissa. Reaktorista tuleva raakakaasu ohjataan kaasuvaraan ja siitä poistetaan kosteutta, minkä jälkeen se ohjataan aktiivihiilisuodattimelle. Kosteuden poistaminen biokaasusta vaikuttaa myös rikkivedyn pitoisuuksiin ennen aktiivihiilisuodatusta.



KUVA 5. Raakakaasun sekä suodatetun että suodattamattoman tuotekaasun metaanipitoisuus pitkällä aikavälillä sekä sekoituskokeen aikana.

Suodattamattoman tuotekaasun rikkivetyypitoisuus nousi hetkellisesti 10–20 ppm kaasusekoituksen vaikutuksesta (kuva 6). Selkeämmin kaasusekoitus näkyi raakakaasun rikkivetyypitoisuuksissa, joka vaihteli kokeen aikana 253 ppm:stä 1 066 ppm:ään.



KUVA 6. Raakakaasun sekä suodatun että suodattamattoman tuotekaasun rikkivetyypitoisuus pitkällä aikavälillä sekä sekoituskokeen aikana.

Raakakaasun rikkivedyn korkeat vaihtelut johtunevat mahdollisesti reaktorin pinnassa olevan biologisen rikinpoistokerroksen toiminnan heikkenemisestä sekoituksen vaikutuksesta. Tehostunut sekoitus rikkoo mädätteen päälle muodostuneen kerroksen, jolloin rikkivety pääsee vapaammin kulkeutumaan raakakaasun mukana.

Biokaasun käytön vaikutus näkyi selkeimmin tarkasteltaessa tuloksia pitkällä aikavälillä. Erityisesti biokaasulaitoksen rikkivetyypitoisuus voi vaihdella suuresti jopa päivän aikana riippuen käytössä olevista syötteistä, joten suoria johtopäätöksiä ei voida tehdä verrattaessa demonstraatiokokeen aikaisia tuloksia koetta edeltävän ja seuraavan päivän tuloksiin (taulukko 2).

TAULUKKO 2. Biokaasun pitoisuudet sekoituskokeen aikana (keskiarvo) sekä kokeita edeltävänä että seuraavana päivänä prosessin eri vaiheissa.

Biokaasu	Mittaus- ajankohta	CH ₄ %	H ₂ S ppm	CO ₂ %	O ₂ %
Raakakaasu	Aikana	59,2	648	36,4	0,4
	Jälkeen	55,8	584	39,2	0,3
Tuotekaasu ennen suodatusta	Ennen	62,4	16	34,0	0,1
	Aikana	61,0	42	35,8	0,2
	Jälkeen	59,4	27	37,5	0,1
Tuotekaasu suodatuksen jälkeen	Ennen	60,6	1	32,9	0,5
	Aikana	59,3	4	34,8	0,6
	Jälkeen	57,5	3	36,4	0,7

JOHTOPÄÄTÖKSET

Demonstraatiokokeessa saatujen tulosten perusteella voidaan todeta, että kaasusekoituksella on vaikutusta biokaasulaitoksen kaasuntuotantoon sekä mädätteen ominaisuuksiin. Kuitenkaan ei voida todeta, että kaasusekoitus olisi energiatehokkaampaa perinteiseen mekaaniseen sekoitukseen verrattuna. Kokeessa käytetty kaasusekoituslaitteisto vastaa kulutukseltaan kahta perinteistä mekaanista propellisekoittajaa.

Jos mekaanisia sekoittimia ja kaasusekoittimia verrataan käytännön kannalta, kaasusekoituslaitteisto on helpommin huollettavissa kuin mekaaninen sekoituslaitteisto. Mekaanisilla sekoittimilla ei välttämättä myöskään saada koko reaktorin tilavuutta sekoitettua tehokkaasti.

Demonstraatiokokeen perusteella voidaan todeta, että paras sekoitusvaihtoehto märkämenetelmään pohjautuvalle biokaasulaitokselle olisi mekaanisten sekoittimien ja kaasusekoituksen yhdistelmä. Näin saataisiin varmistettua koko reaktoritilan sekoitus ja ehkäistää mahdollisen pohjasedimentin muodostuminen märkäreaktorissa. Kun yhdistetään erilaisia sekoitusmenetelmiä, saadaan reaktorin sekoitus paremmin hallittavaksi ja muunneltavaksi. Tällöin sekoitus soveltuu myös paremmin eri syötemateriaaleille ja reaktoritilan mädätteen muuntuville ominaisuuksille.

Kun laitoksen tuotekaasua käytetään kaasusekoituksessa, samalla vahvistuu mahdollisesti myös metanogeenien kanta. Kun mikrobit pääsevät paremmin uuden ravinnon pariin ja prosessin olosuhteet ovat tasaisemmat, niiden toiminta tehostuu, mikä johtaa myös metaanipitoisuuden nousuun. Tämä lisää osaltaan laitoksen energiantuotantoa ja kannattavuutta.

LÄHTEET

Mata-Alvarez, J. 2000. Anaerobic digestion of organic solid wastes - An overview of research achievements and perspectives. *Bioresource Technology* 74, s. 3–16.

Di Dachs, G. & Rehm W. 2006. Der Eigenstromverbrauch von Biogasanlagen und Potenziale zu dessen Reduzierung. Solarenergieförderverein Bayern e. V., München, Germany.

Kowalczyk, A., Harnisch, E., Schwede, S., Gerber, M. & Span, R. 2013. Different mixing modes for biogas plants using energy crops. *Applied Energy* 112, 465–472.

Seysiecq, I., Ferrasse, J. H. & Roche, N. 2003. State-of-the-art: Rheological characterization of wastewater treatment sludge. *Biochemical Engineering Journal* 16, s. 41–56.

Satjaritanun, P., Khunatorn, Y., Vorayos, N., Shimpalee, S. & Bringley, E. 2016. Numerical analysis of the mixing characteristic for napier grass in the continuous stirring tank reactor for biogas production. *Biomass and Bioenergy* 86, s. 53–64.

BIOKAASULAITOKSEN MONITOROINTIA KEHITTÄMÄSSÄ

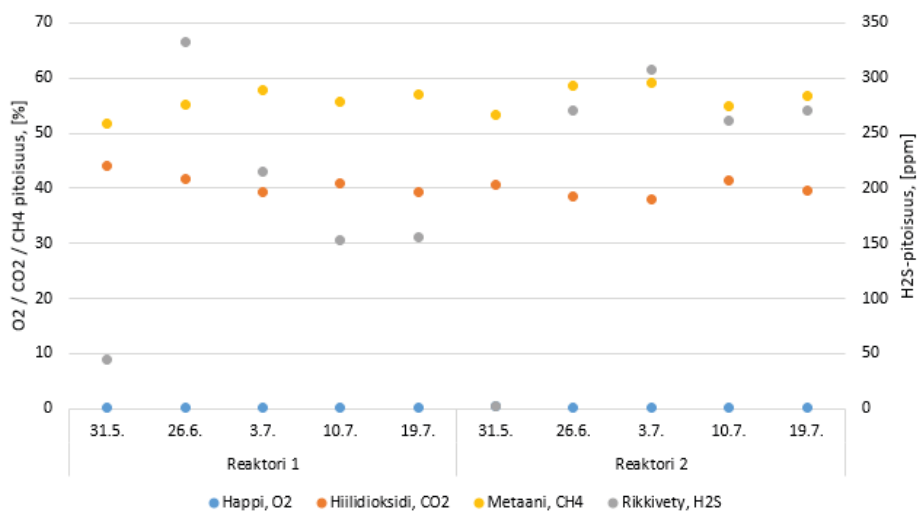
Tiina Saario & Yrjö Hiltunen & Hanne Soinen

Biokaasulaitoksen monitorointi on merkittävä toimenpide laitoksen tuoton, toimivuuden ja optimoinnin kannalta. Vaikka monitorointi kehittyi koko ajan, on edelleen tiettyjä tärkeitä muuttujia, joiden online-monitorointiin ei ole vielä kehitetty antureita. GasOpti-hankkeen aikana mallinnettiin biokaasuprosessin seurannassa käytettäviä analyysituloksia reaktorin mädätteen osalta (pH, johtokyky ja alkaliteetti). Tavoitteena oli löytää korrelaatio alkaliteetin ja online-monitoroitavien muuttujien välillä (pH ja johtokyky). GasOpti-hankkeessa on seurattu kahden biokaasulaitoksen toimintaa, joista toisen reaktorin toiminta pohjautuu märkämenetelmään ja toisen kuivamenetelmään. Monitorointia tehtiin märkälaitoksen osalta koko hankkeen keston ajan ja kuivamenetelmän osalta yhden kuukauden ajan. GasOpti – Kaasujen hallinnan älykkäät sovellukset biojalostamo- ja vesiprosesseissa -hankkeen rahoittajina ovat Business Finland Euroopan aluekehitysrahasto sekä Andritz Oy, Janesco Oy, Carbonreuse Finland Oy, Pixact Oy, Solenis Finland Oy, Metsäsairila Oy ja Juvan Bioson Oy. Hanke toteutettiin 1.1.2018–31.12.2019.

BIOKAASULAITOSTEN KAASUMITTAUKSET

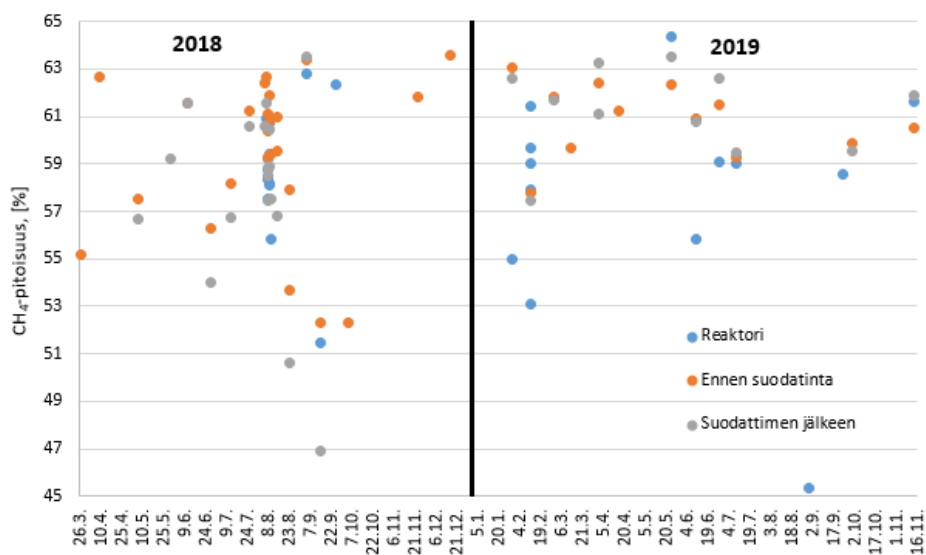
Biokaasulaitoksen tuottavuuden kannalta merkittävin biokaasumäärittämisistä on luonnollisesti metaanipitoisuus. Tämä on yleisimmin laitoksilla määritetty kaasupitoisuus. Toinen yleisesti mitattu kaasu on rikkivety, jonka pitoisuus on tärkeää selvittää kaasun loppukäytön kannalta. Korkeat rikkivetypitoisuudet syövyttävät putkistoja ja komponentteja lyhentäen näin laitteistojen elinikää.

Hankkeessa biokaasulaitoksilta määritettiin metaani-, hiilidioksidi-, happi- ja rikkivetypitoisuudet. Märkämenetelmään pohjautuvalla laitoksella määritettiin kaasujen pitoisuudet aluksi vain CHP-yksiköltä ennen ja jälkeen aktiivihiihluodattimen. Elokuussa vuonna 2018 suoritetun sekoituskokeen yhteydessä rakennettiin mittaussyde myös reaktorikaasulle. Kuivamenetelmään pohjautuvan laitoksen kaasumittaukset on otettu käsittelemättömästä tuotekaasusta. Kuivamädättämön mittaustulokset on esitetty kuvassa 1.



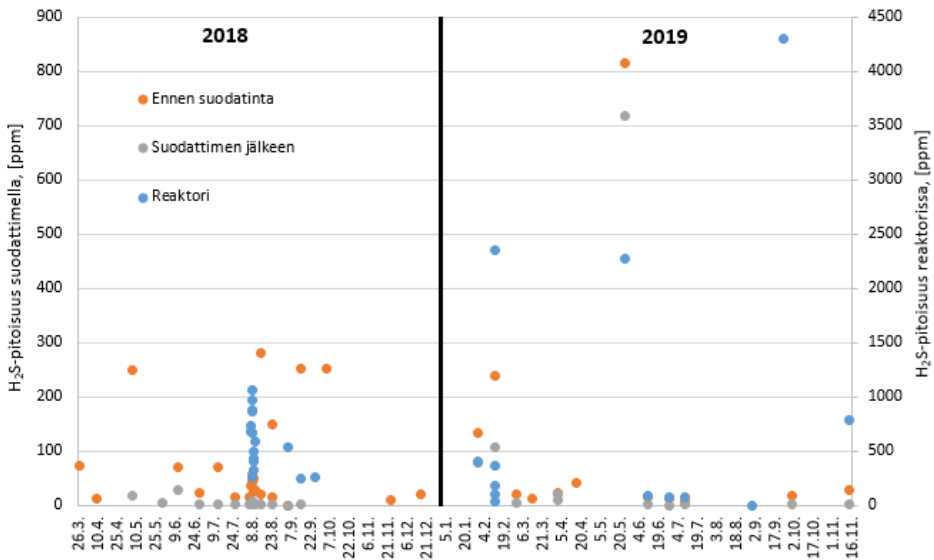
KUVA 1. Kuivamädättämön käsittelemättömän tuotekaasun pitoisuudet kesällä 2018.

Märkämädättämön biokaasukoostumusta on määritetty aktiivihiihluodattimen yhteestä maaliskuusta 2018 ja reaktorin yhteestä elokuusta 2018. Metaanipitoisuus on mittausjakson aikana ollut suhteellisen tasainen vaihdellen 55–65 prosenttiin mittausjakson aikana (kuva 2).



KUVA 2. Märkämädättämön metaanipitoisuus eri vaiheissa pitkällä aikavälillä.

Rikkivetypitoisuus on reaktorissa vaihdellut muutamasta kymmenestä useampaan tuhanteen (kuva 3). Muutokset riippuvat muun muassa syötemateriaalista, sekoituksesta, biologisen rikinpoistokerroksen toimivuudesta sekä reaktorin tilasta. CHP-tuotantoyksikön yhteydestä mitatut rikkivetypitoisuudet ovat kuitenkin selkeästi alhaisempia reaktoriin verrattuna, joka selittyneen osittain pitkistä kaasulinjasta ja yksiköiden välissä olevan kaasovaraston vaikutuksista. Laitoksen käyttämä aktiivihiihiisuodatin on suodattanut tehokkaasti kaasun sisältämät rikkivedyt.

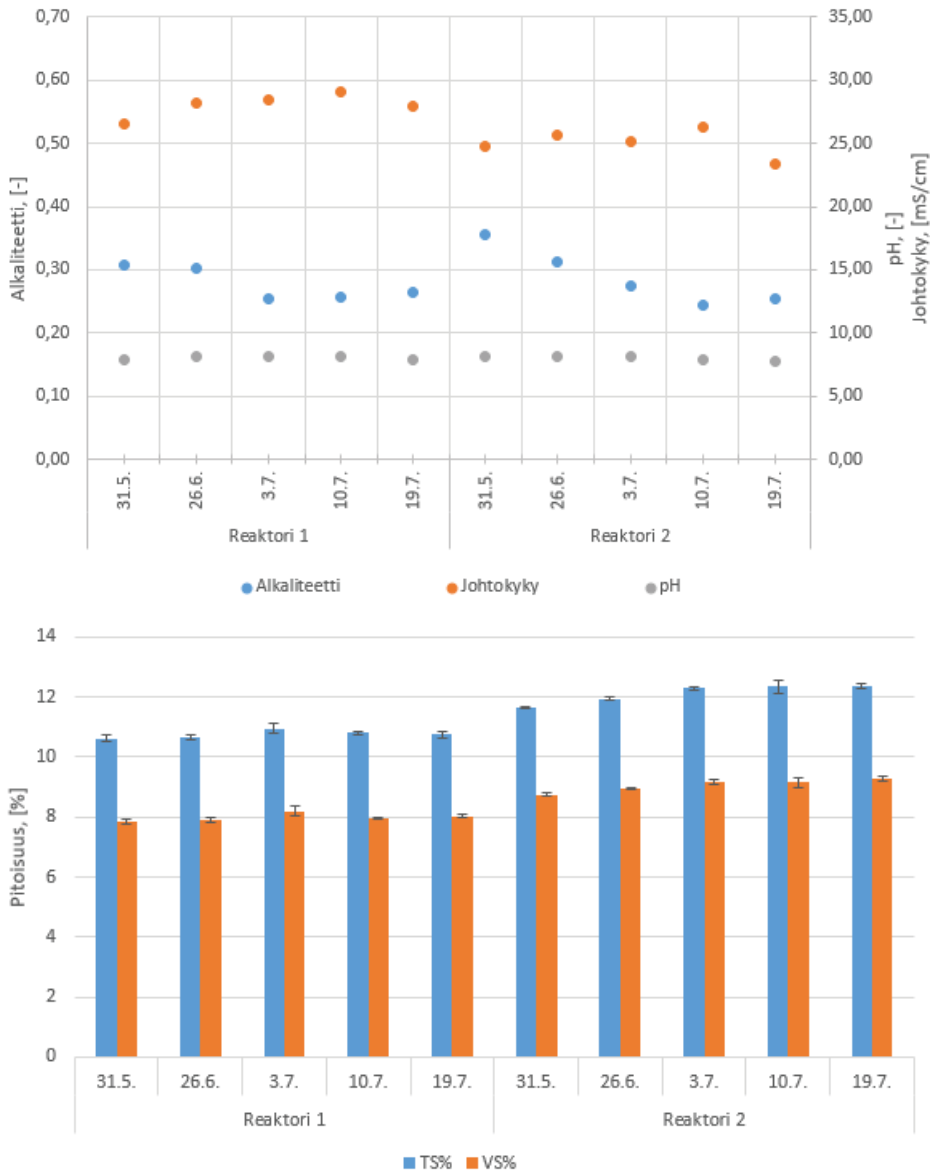


KUVA 3. Märkämädättämön rikkivetypitoisuus eri vaiheissa pitkällä aikavälillä.

Laitoksia monitoroitaessa on myös tärkeää ymmärtää tulosten vaikutukset muutenkin kuin vain laitoksen toiminnan kannalta. Esimerkiksi rikkivedyn terveydelliset vaikutukset on hyvä tiedostaa. Rikkivety on terveydelle haitallista jo pieninä pitoisuuksina, ja tappava raja on 1 000 ppm.

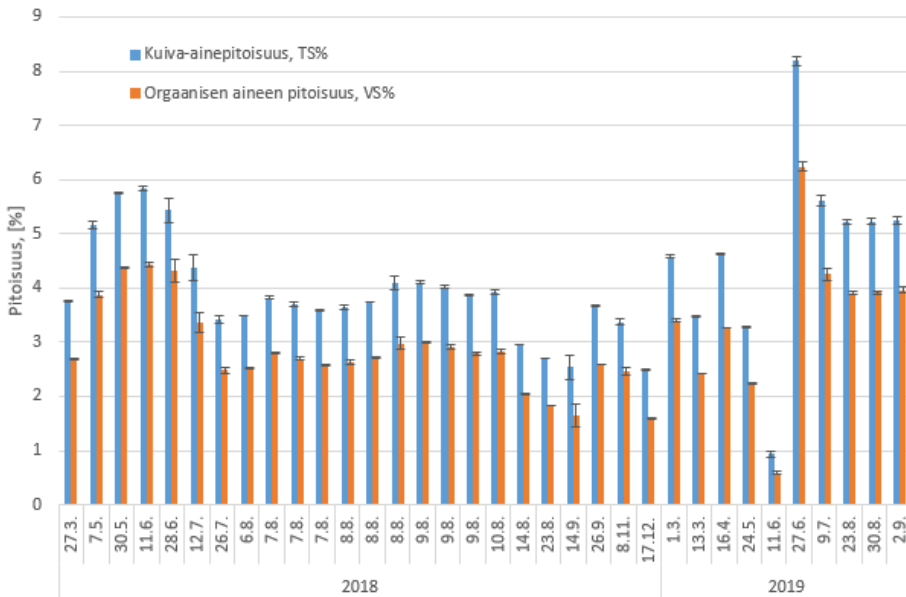
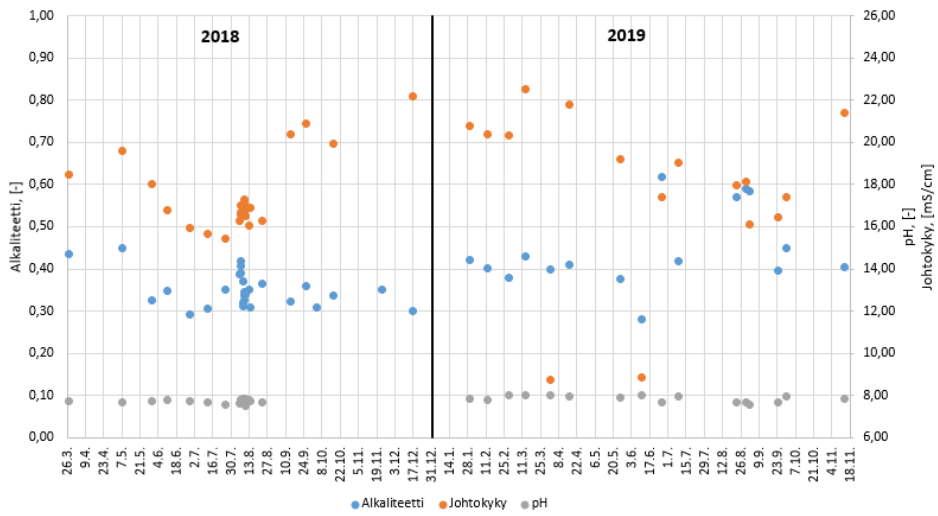
REAKTORIMÄDÄTTEEN SEURANTA

Laitoksilta otettiin biokaasureaktorista mädätenäytteet, joista määritettiin perusmuuttujat: pH, alkaliteetti, johtokyky, kuiva-aine (TS)- ja orgaanisen aineen pitoisuus (VS). Kuivareaktorin osalta seurattiin kahden rinnakkaisen reaktorin toimintaa (kuva 4). Reaktoreiden välillä esiintyi pientä muutosta esimerkiksi alkaliteetin ja reaktorin kuiva-ainepitoisuuksien välillä.



KUVA 4. Yllä kuivamädättämön reaktorimädätteen muutokset kesällä 2018. Alla muutokset kuivamädättämön reaktorimädätteen kuiva-aineessa ja orgaanisen aineen pitoisuuksissa kesällä 2018.

Märkämädättämön reaktorimädätteen muutoksia on seurattu GasOpti-hankkeessa pitkällä aikavälillä. Monitoroinnissa on selkeästi havaittu, miten reaktori elää yli 1,5 vuoden aikana. Johtokyky ja alkaliteetti vaihtelevat selkeästi, kun taas pH pysyy hyvin lähellä 8:aa koko ajan (kuva 5). Kuiva-aineen ja orgaanisen aineen pitoisuudessa näkyy myös selkeää vaihtelua, joka selittyy syötemateriaalien muutoksella. Näiden välinen VS/TS-suhde on kuitenkin lähes koko ajan 70–75 prosenttia.

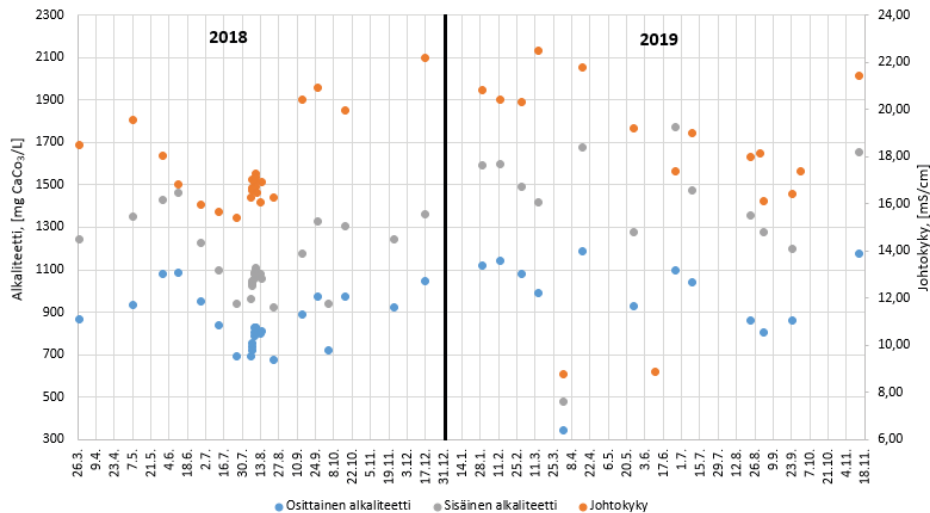


KUVA 5. Yllä märkämädättämön reaktorimädätteen muutokset pitkällä aikavälillä. Alla muutokset märkämädättämön reaktorimädätteen kuiva-ainessa ja orgaanisen aineen pitoisuuksissa pitkällä aikavälillä.

MÄDÄTEANALYYSIEN KORRELAATIOT

Reaktorin puskurointikyky on merkittävä muuttuja seurattaessa biokaasulaitoksen toimintaa. Tähän käytetään esimerkiksi Rippleyn alkaliteettia sekä FOS/TAC-suhdetta. Näiden monitorointi online-mittauksena on kuitenkin mahdotonta. Tästä syystä pyritään löytämään korrelaatio eri online-mitattavien muuttujien ja puskurointikyvyn välillä.

GasOpti-hankkeessa on vertailtu pH:n, johtokykyyn ja Rippleyn alkaliteetin välisiä muutoksia. Kuten kuvassa 6 on nähtävissä, ei suoraa korrelaatiota ole tulosten välillä havaittavissa. Kuvasta myös näkyy pitkällä aikavälillä tehtävien mittausten merkitys. Jos korrelaatiota olisi etsitty vain ensimmäisten kuukausien mittadatan perusteella, olisi tehty virheoletus alkaliteetti- ja johtokykytulosten vertailtavuudesta. Sama on havaittavissa myös, jos alkaliteettiarvon jakaa osittaiseen ja sisäiseen alkaliteettiin (Partial alkalinity PA, Initial alkalinity IA).



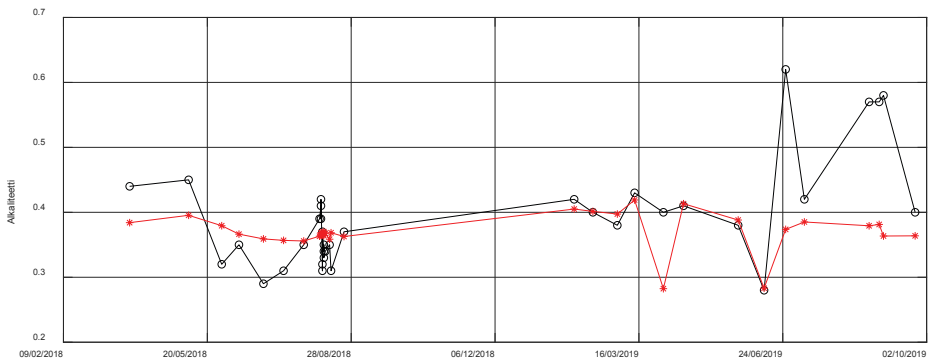
KUVA 6. Märkämädättämön reaktorimädätteen johtokyvyn sekä osittaisen ja sisäisen alkaliteetin suhde pitkällä aikavälillä.

ANALYYSIMATERIAALIN KORRELAATIO

Alkaliteetti pyrittiin mallintamaan lineaarisesti pH:n ja johtokyvyn avulla seuraavan yhtälön mukaisesti:

$$\text{Alkaliteetti} = a_1 * \text{pH} + a_2 * \text{johtokyky} + \text{vakio}.$$

Kuvassa 7 on esitetty sekä kokeellinen että mallinnettu alkaliteetti, joiden välinen korrelaatiokerroin on 0,3 ja standardideviaatio 0,08. Kuten kuvasta nähdään, mallinnuksella pystytään kuvaamaan suhteellisen hyvin kokeellisten arvojen perustaso ja pienet muutokset, mutta esimerkiksi kuvan oikeassa reunassa olevat suuret muutokset jäävät pääosin mallintumatta.



KUVA 7. Alkaliteetti (musta) mallinnettuna pH:n ja johtokyvyn avulla (punainen).

BIOKAASULAITOSTEN MONITOROINTI SUOMESSA JA ULKOMAILLA

Tiina Saario & Sami Mörsky

Suomessa on toistasataa biokaasua tuottavaa laitosta, joista noin 60 on mädätyslaitoksia. Suurimmalla osalla laitoksista on omat tapansa seurata, monitoroida ja optimoida kaasuprosessia. Tästä herää kysymys, mitä kaikkea biokaasulaitoksella olisi kannattavaa monitoroida. Lisäksi on kiinnostavaa tietää, millaisia haasteita suomalaisilla biokaasulaitoksilla on ollut esimerkiksi pohjasedimentin tai eri syötemateriaalien kanssa. Kuinka laitokset ovat ratkaisseet rikkivedyn tuomat haasteet ja löytyykö erityyppisiltä laitoksilta yhteisiä haasteita?

Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu toteutti GasOpti – Kaasujen hallinnan älykkäät sovellukset biojalostamo- ja vesiprosesseissa -hankkeessa selvityksen suomalaisten biokaasulaitosten käyttämistä monitorointimenetelmistä. GasOpti-hankkeen rahoittajina ovat Business Finland Euroopan aluekehitysrahasto sekä Andritz Oy, Janesco Oy, Carbonreuse Finland Oy, Pixact Oy, Solenis Finland Oy, Metsäsairila Oy ja Juvan Bioson Oy. Hanke toteutettiin 1.1.2018–31.12.2019.

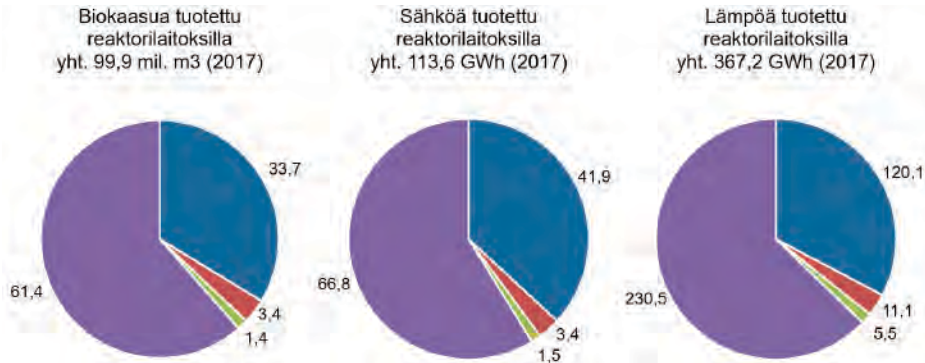
SUOMALAISET BIOKAASULAITOKSET

Suomen biokaasulaitosrekisterin n:o 21 (Huttunen ym. 2018) mukaan vuonna 2017 Suomessa oli 102 biokaasua tuottavaa laitosta. Näistä 59 on mädätyslaitoksia:

- 24 yhteismädätyslaitosta
- 16 yhdyskuntien jätevedenpuhdistamoa
- 15 maatilamädättämöä
- 4 teollisuuden jätevedenpuhdistamoa.

Vanhin vuonna 2017 toiminnassa oleva laitos on Lahden Ali-Juhakkalassa sijaitsevan jätevedenpuhdistamon mädättämö. Se on aloittanut toimintansa vuonna 1961. 60-luvulla Suomessa on aloittanut biokaasun tuotannon viisi jätevedenpuhdistamoa. Ensimmäinen teollisuuden jätevedenpuhdistamo on aloittanut toimintansa 1984 Orklassa. Ensimmäisiä maatilatalouksien mädätyslaitoksia ja yhteismädätyslaitoksia on rakennettu Suomeen lähinnä 2000-luvun vaihteessa. Laitoksilla on käytössään pääasiassa märkämenetelmään pohjautuva mädätysprosessi. Tämän lisäksi löytyy seitsemän kuivamenetelmään pohjautuvaa laitosta sekä näiden yhdistelmiä ja Bionolix-, IR- ja IC-prosesseja. (Huttunen et al. 2018)

Vuonna 2017 suomalaiset biokaasua tuottavat laitokset tuottivat yhteensä 172,2 miljoonaa kuutiota biokaasua, josta tuotettiin sähköä 178,3 GWh ja lämpöä 505,3 GWh. Tämä on noin 10 prosenttia enemmän kuin vuoden 2016 tuotto. Mädätyslaitoksilla tuotetun biokaasun, sähkön ja lämmön tuotantolukemat on esitetty kuvassa 1. (Huttunen et al. 2018)



KUVA 1. Suomalaisien mädätyslaitosten tuotantotilastot 2017 (Huttunen et al. 2018).

LAITOSTEN TOIMINNAN OPTIMOINTI JA SYÖTTEIDEN SÄÄNNÖSTELY

Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulun tekemään puhelinkyselyyn vastasi kymmenen laitosta. Kyselyyn vastanneista laitoksista kaikilla on käytössään mekaaninen sekoitus. Lisäksi yhdellä laitoksella on rinnalla kaasusekoitus ja yhdellä nestesekoitus. Sekoitukseen liittyvinä haasteina on laitoksilla koettu kuorettuminen, rehun nouseminen pintaan ja tarttuminen sekoituslapoihin. Myös syötteiden vaihtelu ja erityisesti kosteuserot aiheuttavat haasteita optimaalisen sekoituksen saavuttamiselle.

Kaasuntuotantoa pyritään optimoimaan laitoksilla pääasiassa syötteiden määrän säätelyllä. Jonkin verran käytetään lisäaineita tai pyritään säätämään reaktoriin syötettävien jakeiden laatua. Yleisesti vastaajat totesivat optimoinnin olevan haastavaa. Tarkemmat jaottelut on esitetty taulukossa 1.

TAULUKKO 1. Biokaasulaitosten sekoitusmenetelmät ja laitoksen optimointi.

		Osuus vastanneista, %
Sekoitus	Mekaaniset lavat / propellit	100
	Kaasusekoitus	10
	Nestesekoitus / Kierrätyspumppaus	10
Kaasuntuotannon optimointi	Syötteiden määrän säätely	70
	Syötteiden laadun säätely	10
	Lisäaineet	20
	Ei mitenkään	10

Taulukosta 2 nähdään, että yleisin syötemateriaali kyselyyn vastanneilla laitoksilla on puhdistamoliete. Toisena tulevat bio- ja rasvajäte. Yleisiä syötemateriaaleja ovat myös erilaiset viherjakeet sekä lannat.

TAULUKKO 2. Biokaasulaitosten käyttämät syötemateriaalit

	Osuus vastanneista, %		Osuus vastanneista, %
Elin-tarvike- ja biojäte	40	Rasvajäte	40
		Biojäte	40
		Eläinjäte III-luokka	10
		Leipomojäte, elintarviketeollisuuden jäte	20
Lietteet, sivuvirrat	60	Puhdistamoliete	50
		Teollisuuden sivuvirrat	10
		Teollisuuden lietteet	10
		Raakasekaliete	10
		Sakokaivojäte	10
Viherjakeet, rehujäte	40	Rehuvilja, säilörehu	20
		Ruumenet	10
		Viherjakeet	30
Lantajäte	50	Karjan lietelanta	30
		Sian lietelanta	20
		Mahalanta	10

LAITOSTEN MONITOROINTI

Yleisiä seurattavia muuttujia biokaasulaitoksella ovat reaktorin prosessiolosuhteet (lämpötila, pH), kaasumittaukset (kaasun tuotto, koostumus, paine) sekä syötteen ja mädätteen ominaisuudet (kuiva- ja orgaanisen aineen pitoisuus, laatu, alkaliteetti). Kyselyn perusteella monitoroinnissa on suuria eroja laitosten välillä. Osalla laitoksista seurataan tarkasti jatkuvalla mittauksella eri kaasujen pitoisuuksia sekä prosessiolosuhteita reaktorissa, kun taas jollain laitoksella ei seurattu muuta kuin reaktorin lämpötilaa. Tarkempi jaottelu on nähtävissä taulukossa 3.

TAULUKKO 3. Biokaasulaitoksilla seurattavat muuttujat.

		Osuus vastanneista, %	
		Jatkuva-toimisesti	Ei-jatkuva-toimisesti
Syöttö	Orgaanisen aineen määrä	20	
	Organic Loading Rate, OLR		30
	TS %, VS %		40
Reaktori	Lämpötila	80	
	Lietteen sakeus	10	
	Hydraulic Retention Time, HRT		30
	Täyttöaste	10	
	Sekoittimien nopeus	10	
	Pinnankorkeus	10	
Mädäte	pH	20	30
	Alkaliteetti, IA/PA-suhde (Ripley, HCl)		30
	FOS/TAC-suhde		10
	Haihtuvat rasvahapot (VFA)		20
	TS %, VS %		40
	Laatu (ravinteet, raskasmetallit, mikrobit)		60
Kaasumittaus	Kaasun tuotto (m ³ /h)	90	
	Metaanipitoisuus, CH ₄ %	80	10
	Rikkivetyypitoisuus, H ₂ S ppm	50	20
	Hiilidioksidipitoisuus, CO ₂ %	30	20
	Happipitoisuus, O ₂ %	30	20
	Kaasun kosteus, H ₂ O %	10	
	Kaasun paine	20	
Muita jatkuvasti mitattavia	Energian kulutus, virtaus, tuotekaasun haitta-aineet (esim. siloksaanit)		
Muita ei-jatkuvasti mitattavia	Rejektiveden pH ja raskasmetallipitoisuus, kondensiveden analyysit, syötteiden raskasmetallipitoisuus, tuotekaasun haitta-aineet (esim. siloksaanit), NH ₄ , hiilivetyypitoisuus, puskurointikyky		

Kun laitoksilta kysyttiin, mitä heidän mielestään kannattaisi monitoroida tällä hetkellä mitattavien muuttujien lisäksi, esille nousivat muun muassa VFA kuohumisen takia, kaasun happipitoisuus sekä yleisesti kaasun koostumus. Eräällä laitoksella todettiin, että erinäisiä muuttujia mitataan, mutta ei kovin luotettavasti. Mittalaitteiden huollosta ja kalibroinnista todettiin monessa paikassa, että laitteet huolletaan, kun menevät epäkuntoon. Osalle mittalaitteista oli määritetty huoltovälit joko laitoksen määräyksestä, laitetoimittajan suosituksesta tai lain vaatimuksesta. Lisäksi osassa paikoista laitteille tehtiin ajoittaisia tarkistusmittauksia.

BIOKAASULAITOSTEN PROSESSIHAASTEET

Rikkivety oli useimmilla laitoksilla tuttu ongelma. Pääasiassa laitoksilla oli käytössä aktiivihiihiisuodatus rikkivedyn poistossa. Toinen yleinen keino oli rikkivedyn ehkäisy jo reaktorivaiheessa syöttämällä reaktoriin ilmaa. Laitokset olivat huomanneet muun muassa eläinpohjaisten syötteiden (kalan perkuujäte, teurasjäte), biojätteen ja lietelannan aiheuttavan rikkivedyn muodostumista.

Toinen yleinen haaste laitoksilla oli pohjasedimentti ja sen muodostuminen. Useimmat laitokset joutuvat tämän takia ajoittain tyhjentämään reaktorin, jotta sedimentti saadaan poistettua reaktorista. Kyselyyn saatuja kommentteja olivat muun muassa seuraavat:

- Sekoitussuunta käännetään ajoittain, jolloin pohjasedimentti lähtee liikkeelle. Tämä tosin aiheuttaa putkistojen tukkeutumisen irtoavan sedimentin vuoksi.
- Sekoitusteho ei ollut aluksi riittävä, vaan aiheutti sedimentin kasaantumisen (7 vuodessa noin 20 m³).
- Reaktorissa on pohjapoisto, joka avataan enintään kaksi kertaa vuodessa. Aiemmin ongelman aiheuttivat kananmunankuoret, mutta niitä ei oteta enää vastaan.
- Sedimentti tuottaa jonkin verran ongelmia. Kun syötteen massa ja kuiva-ainepitoisuus saadaan pidettyä homogeenisena, ei ongelmia synny.

Kolmas esille noussut ongelma on biojätteen mukana tulevat biopussit. Nämä eivät ehdi prosessikierron aikana hajota eikä niitä pystytä seulomaan samalla tavalla pois biojätteen joukosta kuin esimerkiksi muovipussit. Biopussien materiaali ei kellu samalla tavalla kuin tavallinen muovi, vaan venyy, repeää ja kiertyy lapojen ympärille. Osa laitoksista haluaisi kieltää biohajoavat pussit kokonaan niiden aiheuttamien ongelmien takia.

EUROOPPALAISTEN LAITOSTEN SEURANTA

Suomalaisille biokaasulaitoksille suunnattu monitorointi- ja optimointikysely lähetettiin myös kymmenille eurooppalaisille biokaasulaitoksille. Valitettavasti laitosten vastausinnostus oli niin alhainen, ettei luotettavia johtopäätöksiä pystytä tekemään eurooppalaisista monitorointitavoista. Kuitenkin saatuja vastauksia tukemaan löytyi vuonna 2012 tehty selvitys eurooppalaisten anaerobisten mädätyslaitosten monitorointikäytännöistä (Bio-methane

Regions 2012). Eurooppalaisilla (pois lukien Suomi) biokaasulaitoksilla yleisesti seurattavat muuttujat on esitetty taulukossa 4.

TAULUKKO 4. Eurooppalaisilla biokaasulaitoksilla seurattavat muuttujat (Biomethane Regions 2012).

Jatkuvasti seurattavat muuttujat	Ei-jatkuvasti seurattavat muuttujat
<ul style="list-style-type: none"> • Kaasun koostumus, paine, virtaus ja tuotto • Reaktorin lämpötila ja pH • Mädätteen pH 	<ul style="list-style-type: none"> • Alkaliteetti/FOS/TAC-menetelmä • Syötteen ja mädätteen TS- ja VS-pitoisuus • Mädätteen/reaktorin pH, typpipitoisuus, VFA ja laatu (esim. mikrobit, ravinteet, raskasmetallit) • Kaasun virtaus, saanto ja ammoniakkipitoisuus • Hydraulic retention time, HRT, ja Organic loading rate, OLR

Syötemateriaalit ovat eri puolilla Eurooppaa hyvin samantyyliisiä: eläinten lantaa, puhdistamolietteitä ja viherjakeita. Luonnollisesti jonkin verran löytyy eroja esimerkiksi viherjakeiden koostumuksissa (Biomethane Regions 2012).

LÄHTEET

Biomethane Regions. 2012. European Case Studies of Anaerobic Digestion Plants Showcasing their Monitoring Practices. The Wales Centre of Excellence for Anaerobic digestion, LandesEnergieVerein & Vienna University of Technology.

Huttunen, M. J., Kuittinen, V., Lampinen A. 2018. Suomen biokaasulaitosrekisteri n:o 21.: Tiedot vuodelta 2017. Itä-Suomen yliopisto – Luonnontieteiden ja metsätieteiden tiedekunta. ISSN: 1798-5692.

BIOKAASULAITOKSEN KUORMITUKSEN SEURANTA ALKALITEETIN JA FOS/TAC- ARVON KAUTTA

Tiina Saario & Phong Truong & Marjatta Lehesvaara & Sami Mörsky

Biokaasuntuotantoprosessi riippuu merkittävästi prosessissa toimivasta laajasta mikrobipopulaatiosta, jossa eri mikro-organismit esiintyvät rinnakkain. Prosessin seuranta on tärkeää mikrobipopulaation vakaan tilan säilyttämiseksi ja laitoksen toiminnan ylläpitämiseksi. Jos laitos on alikuormitustilassa, prosessin mikrobeille ei löydy riittävästi ravintoa, jolloin laitos toimii aliteholla. Ylikuormitustilassa taas prosessin uhkana on ähky, ja prosessi voi häiriintyä tämän takia. Prosessin kuormittumisen määrittämiseen on olemassa useita parametreja, joista alkaliteetti ja vapaiden rasvahappojen määrä (VFA) ovat tärkeimpiä. GasOpti-hankkeessa on vertailtu kahden alkaliteetin määrittämenetelmän (Ripleyn alkaliteetti, FOS/TAC-menetelmä) antamia tuloksia ja selvitetty näiden kahden menetelmän välisiä korrelaatioita.

Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulun toteuttaman GasOpti – Kaasujen hallinnan älykkäät sovellukset biojalostamo- ja vesiprosesseissa -hankkeen rahoittajina ovat Business Finland Euroopan aluekehitysrahasto sekä Andritz Oy, Janesko Oy, Carbonreuse Finland Oy, Pixact Oy, Solenis Finland Oy, Metsäsairila Oy ja Juvan Bioson Oy.

LAITOKSEN KUORMITUKSEN SEURANTA

Biokaasuntuotantoprosessin kuormitus voidaan ilmoittaa muun muassa syötteen määrällä (kg) reaktoritulavuutta kohden päivässä. Kuormitus pyritään pitämään mahdollisimman korkeana mutta kuitenkin sellaisella tasolla, että orgaaninen aines ehtii hajota eikä aiheuta epävakautta prosessiin. Biokaasulaitoksen kuormittumista seurataan monella laitoksella tekemällä mädätteestä alkaliteettianalyysi joko Ripley- tai FOS/TAC-menetelmällä. Molemmat menetelmät kertovat teoriassa samasta mädätteen ominaisuudesta, mutta niiden välillä on pieniä eroja. Yleisesti Ripley'n menetelmää pidetään luotettavampana. Molemmat menetelmät ovat pH-arvoon pohjautuvia kahden pisteen titrausmenetelmiä, joiden suurin ero on näytteen esikäsittelyssä ja titraushapossa.

RIPLEYN ALKALITEETTI

Ripleyn menetelmä on perinteinen. Siinä määritetään reaktorimädätteestä suolahapolla (HCl) osittainen alkaliteetti (Partial alkalinity, PA), joka kuvaa bikarbonaattipuskurointia (pH 5,75), sekä sisäinen alkaliteetti (Initial alkalinity, IA), joka kuvaa VFA-puskurointia (pH 4,3). Näiden suhteesta saadaan alkaliteettiarvo IA/PA. Osittainen ja sisäinen alkaliteetti määritetään kaavalla,

$$\text{Alkaliteetti } ((\text{mgCaCO}_3)/\text{L}) = \frac{(A \cdot N \cdot 50\,000)}{V}$$

jossa A Titrauksessa kulutettu happo, ml
 N Käytetyn hapon normaalisuus
 V Näytetilavuus, ml.

IA/PA-luku kertoo laitoksen vakaudesta. Laitoksen tila on optimaalinen, jos IA/PA-arvo on alle 0,25, mutta suositus on alle 0,5. Laitos on ylikuormittunut, jos arvo nousee yli 0,7:n.

FOS/TAC-ARVO

FOS/TAC on erityisesti Saksassa käytetty menetelmä, ja monet kaupalliset automaattititrauslaitteistot pohjautuvat tähän menetelmään. Toisin kuin Rippleyn menetelmä, FOS/TAC vaatii näytteen sentrifugoinnin ja titraushappona käytetään rikkihappoa. Tällä menetelmällä määritetään karbonaattialkaliteetti (TAC, pH 5) ja VFA-konsentraatio (FOS, pH 4,4). Näiden arvot lasketaan

$$TAC = V_1 \cdot 250 \cdot 4$$

jossa TAC Biokarbonaatin puskurointi, mg/L
 V1 Hapon kulutus pH-arvoon 5,0, ml

$$FOS = (V_2 \cdot 1,66 \cdot 4 - 0,15) \cdot 500$$

jossa FOS VFA puskurointi, mg/L
 V Hapon kulutus pH-arvosta 5,0 arvoon 4,4, ml

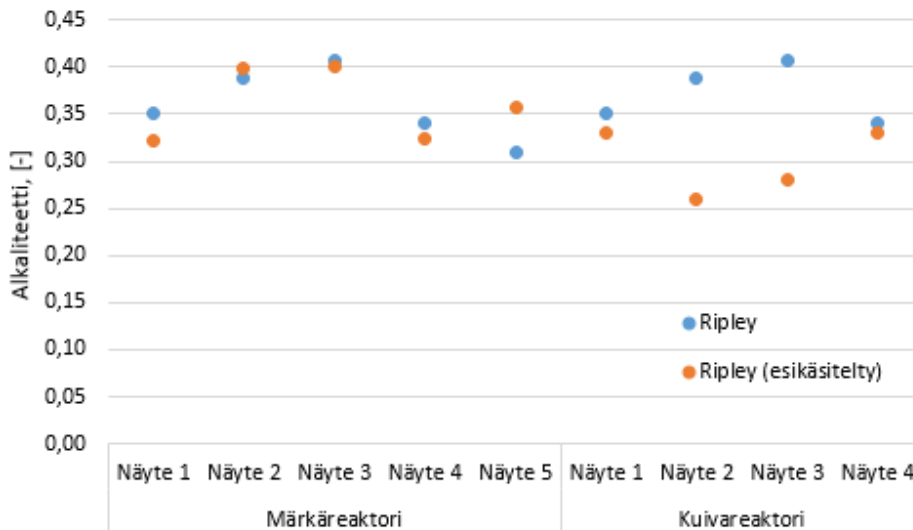
Näiden suhde FOS/TAC kertoo laitoksen kuormittuneisuudesta (taulukko 1).

TAULUKKO 1. FOS/TAC-suhde ja reaktorin kuormittuminen (Lossie & Pütz 2008)

FOS/TAC-suhde	Syy	Toimenpide
> 0,6	Erittäin suuri biomassan syöttö	Biomassan syötön keskeytys
0,5–0,6	Suuri biomassan syöttö	Biomassan syötön vähentäminen
0,4–0,5	Laitos on voimakkaasti kuormitettu	Laitoksen tarkempi seuranta
0,3–0,4	Biokaasun tuotanto maksimissaan	Biomassan syötön pitäminen vakiona
0,2–0,4	Biomassan syöttö liian vähäistä	Biomassan syötön kasvattaminen hitaasti
< 0,2	Biomassan syöttö aivan liian vähäistä	Nopea biomassan syötön kasvattaminen

ESIKÄSITTELYN TARPEELLISUUS

FOS/TAC-menetelmä vaatii näytteen esikäsitteilyn sentrifugoimalla. GasOpti-hankkeessa vertailtiin esikäsitteilyn vaikutusta Rippleyn alkaliteetti-arvoihin (kuva 1) sekä analyysin käytännön toteutukseen. Näytteinä käytettiin märkämenetelmään pohjautuvan biokaasulaitoksen reaktorimädätettä sekä laboratoriomittakaavan jatkuvatoimisen biokaasureaktorin mädätettä, joka kiintoainepitoisuudeltaan oli lähempänä kuivamädätettä.

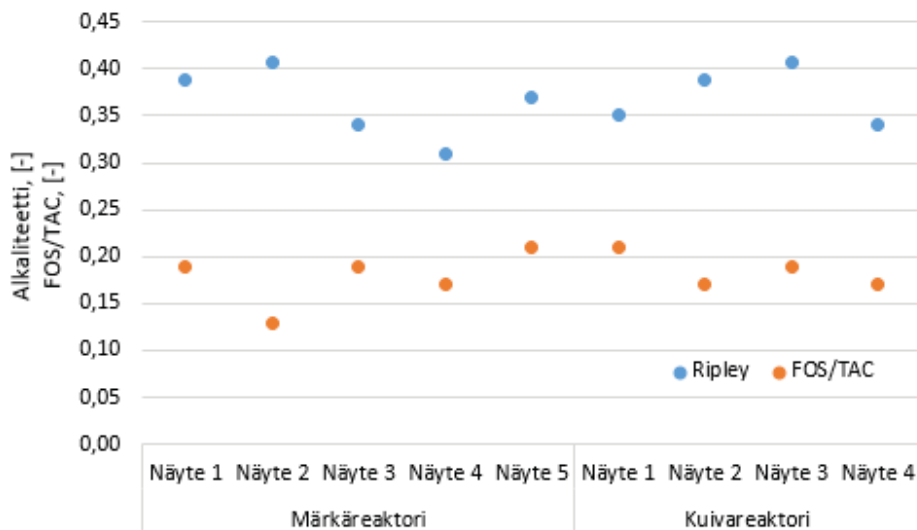


KUVA 1. Näytteen esikäsitteilyn vaikutus Rippleyn alkaliteettiin.

Esikäsitteily teki mädäntenäytteestä, erityisesti kuivareaktorin näytteestä, homogeenisemmän ja nestemäisemmän, jolloin näyte oli helpompi analysoida. Toisaalta tällöin näyte myös reagoi nopeammin ja saattoi siksi mennä herkästi titrattaessa ”yli”. Lisäksi vaikka esikäsitteilyn vaikutus oli havaittavissa IA- ja PA-osatuloissa, näiden suhde pysyi kuitenkin samana. Tämän vuoksi esikäsitteilyllä ei lopputuloksen kannalta ollut merkittävää vaikutusta.

FOS/TAC VS. ALKALITEETTI

Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulun Mikkelin kampuksen ympäristölaboratoriossa tehtiin selvitys näiden kahden menetelmän vertailtavuudesta. Menetelmiä vertailtiin sekä kuiva- että märkämädätykseen pohjautuvan reaktorin mädätteillä (kuva 2). Vertailtaessa Ripley- ja FOS/TAC-menetelmillä saatuja arvoja itsessään ei näiden tuloksista pystytä havaitsemaan suoraa korrelaatiota.



KUVA 2. Ripley'n alkaliteetti ja FOS/TAC-arvo kuiva- ja märkämädätteillä.

Tarkempaan vertailuun käytettiin SPSS Statistics -ohjelmaa ja sen muodostamaa Pearson-korrelaatiota (taulukko 2). Vaikka tulosten välillä oli havaittavissa vahvaa korrelaatiota, ei arvo ollut kuitenkaan riittävän vahva luotettavan vertailuarvon saavuttamiseksi. Syynä tähän voivat olla titrausprosessin eroavaisuudet sekä liian pieni näytemäärä: Luotettava Pearson-korrelaatio vaatii noin viisi kertaa suuremman näytemäärän.

TAULUKKO 2. Pearson-korrelaatio Rippleyn ja FOS/TAC-menetelmien välillä.

		Korrelaatio *	Toimenpide
Märkäreaktori	FOS vs. IA	-0,656	Vahva, negatiivinen suhde
	TAC vs. PA	0,781	Vahva, positiivinen suhde
	FOS/TAC vs. IA/PA	-0,378	Heikko, negatiivinen suhde
Kuivareaktori	FOS vs. IA	0,628	Vahva, positiivinen suhde
	TAC vs. PA	-0,230	Heikko, negatiivinen suhde
	FOS/TAC vs. IA/PA	0,654	Vahva, positiivinen suhde

* Positiivinen korrelaatio → arvot liikkuvat samaan suuntaan

Negatiivinen korrelaatio → arvot liikkuvat eri suuntiin

Mitä lähempänä arvoa (±)1, sitä vahvempi korrelaatio.

JOHTOPÄÄTÖKSET

Tutkimusten perusteella voidaan suositella sentrifugoinnin lisäämistä myös Rippley-menetelmän esikäsittelyksi. Sentrifugoinnin todettiin parantavan titrauksen tarkkuutta poistamalla matriisista häiritseviä tekijöitä ja pienentämällä mittausvirheitä. Alkaliteettiarvoon sentrifugoinnilla ei ollut vaikutusta. Näytettä on kuitenkin suositeltavaa sentrifugoida nopeudella 10 000 kierrosta minuutissa 20 minuutin ajan (Behrendt ym. 2011).

Tämän tutkimuksen tuloksia voidaan käyttää pohjana jatkotutkimuksiin Rippleyn ja FOS/TAC-titrauksen tarkkuuden vertailemiseksi. Jatkotutkimukset tulisi suorittaa pidemmällä ajanjaksolla, mieluiten 1–3 kuukautta kestäväällä päivittäisellä FOS/TAC-titrauksella. Näin voitaisiin kerätä tarpeeksi laaja tietoaaineisto, jossa VFA-pitoisuus olisi todellinen.

LÄHTEET

Behrendt, A., Vasilic, D. & Ahrens, T. 2011. Report on substrate pretreatment, quality and biogas potential of different waste substrates and suitable substrate mixtures for each individual region.

Lossie, U. & Pütz, P. 2008. Targeted control of biogas plants with the help of FOS/TAC. Hach Lange - Practice report.

ESIKÄSITTELYN JA SEKOITUKSEN VAIKUTUS KAASUNTUOTANTOON -CASE – PANOSKOKEET

Tiina Saario & Heikki Teittinen & Jonne Gråsten & Aki Heinonen

Biokaasulaitoksen toiminnan optimoinnilla on merkittävä vaikutus laitoksen tuotantotehokkuuteen ja kannattavuuteen. Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulussa (Xamk) on usean vuoden ajan tutkittu eri syötemateriaalien, sekoituksen ja haitta-aineiden vaikutusta biokaasun ja metaanin tuotantopotentiaaleihin. GasOpti-hankkeessa on tutkittu paljon erityisesti sekoituksen vaikutusta kaasuntuotantoon.

GasOpti – Kaasujen hallinnan älykkäät sovellukset biojalostamo- ja vesiprosesseissa -hankkeen rahoittajina ovat Business Finland Euroopan aluekehitysrahasto sekä Andritz Oy, Janesko Oy, Carbonreuse Finland Oy, Pixact Oy, Solenis Finland Oy, Metsäsairila Oy ja Juvan Bioson Oy.

SYÖTEMATERIAALIEN ESIKÄSITTELY

Ennen biokaasureaktoriin syöttämistä syötemateriaaleille voidaan tehdä erilaisia esikäsitteilyjä. Tällaisia ovat esimerkiksi lämmitys, murskaus, hygienisointi ja seulonta. Esikäsitteilyllä pyritään saamaan syötemateriaali sellaiseen muotoon, josta siitä saadaan kaikkein suurin hyöty irti niin kaasuntuotannossa kuin jatkojalostuksessa. Esimerkiksi nurmirehun murskaus pienentää syötemateriaalin palakokoa ja rikkoo nurmirehun pintaa. Tällöin nurmirehu hajoaa paremmin prosessin kierron aikana ja reaktorin biokaasua tuottavat mikrobit saavat paremmin hyödynnettyä syötemateriaalin koko potentiaalin.

Toinen syy esikäsitteilylle on myös syötteen mahdollisesti sisältämien haitallisten materiaalien poisto. Esimerkiksi biojätteisiin eksyneet, sinne kuulumattomat vierasesineet, kuten muovipakkaukset, alumiinikannet ja pikkulusikat, haittaavat sekä biokaasuprosessia että mädätteen jatkokäyttöä. Nykyään vielä merkittävämmäksi ongelmaksi sekä kompostointi- että biokaasulaitoksilla ovat nousseet biojätteen sisältämät biohajoavat biopussit. Prosessissa ne eivät käyttäydy tavallisen muovin tapaisesti, jolloin sen seulominen olisi huomattavasti helpompaa. Biopussit repeytyvät ja venyvät kiertyen sekoittimien ympärille, eivätkä ne ehdi hajota biokaasuprosessissa tavallisen kierron aikana (20–30 vuorokautta).

BIOKAASUNTUOTANNON OPTIMOINTI SEKOITUKSELLA JA SYÖTTEEN ESIKÄSITTELYLLÄ

Vuosina 2018–2019 toteutetussa GasOpti-projektin toimenpiteessä 2.2.1 Biokaasuprosessin kaasuntuotannon optimointi selvitettiin syötemateriaalin esikäsitteilyn ja prosessin sekoituksen vaikutusta. Selvitys toteutettiin panoskoesarjalla syksyllä 2019. Kokeessa murskattua nurmirehua käytettiin syötemateriaalina sekä sellaisenaan että lämpökäsiteltynä. Sekoituksen vaikutusta tutkittiin siten, että esikäsitellystä ja käsittelemättömästä nurmirehusta tehtiin toiset rinnakkaispanossarjat, joita ei panoskokeen aikana sekoitettu ja joita muutenkin pyrittiin käsittelemään mahdollisimman vähän.

PANOSKOKEIDEN TOTEUTUS

Panoskoesarjassa käytetty tuore nurmirehu saatiin paikalliselta maatilalta. Nurmirehu oli jo tilalla murskattu noin 2 cm palakokoon, joten erillistä murskausta ei rehulle tarvinnut tehdä. Koetta varten punnittiin 100 g nurmirehua jokaista panoskoepulloa varten. Esikäsiteltävä nurmirehu levitettiin punnituksen jälkeen isoon foliovuokaan ja pidettiin tunnin ajan lämpökaapissa 70 °C:n lämpötilassa (kuva 1). Lämpökäsitteilyn jälkeen nurmirehu lisättiin välittömästi panoskoepulloon ympin joukkoon. Ymppi saatiin märkäprosessiin pohjautuvalta biokaasulaitokselta. Käytettyjen syötteiden alkumääriytykset on esitetty taulukossa 1.



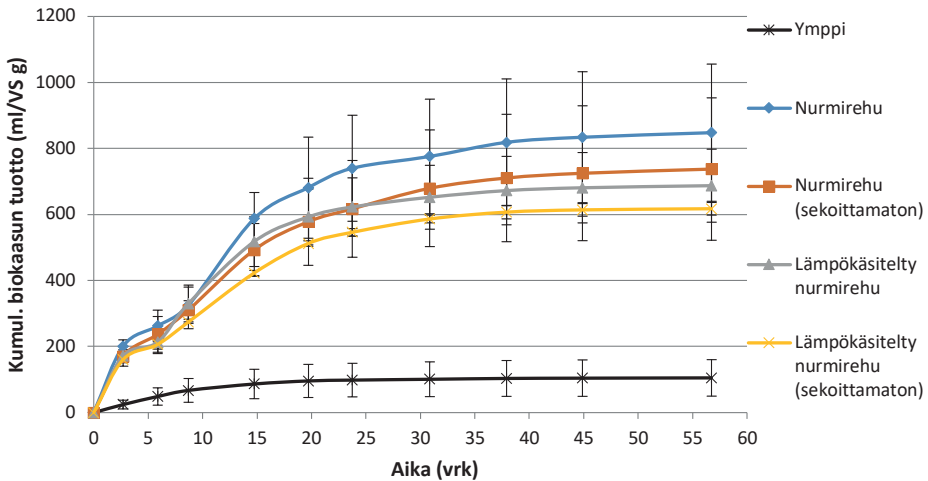
KUVA 1. Murskattu, lämpökäsiteltävä nurmirehu (kuva Tiina Saario).

TAULUKKO 1. Syötteiden alkumääritykset (tp = tuorepaino, ka = kuiva-aine)

Raaka-aine	pH	Alkaliteetti IA/PA	Johtokyky mS/cm	TS %	VS % (tp)	VS% %TS	Hiilipitoisuus % (ka)
Ymppe	7,55	0,58	16,13	5,24	3,96	75,5	41,9
Nurmirehu	-	-	-	31,3	28,9	92,3	51,3

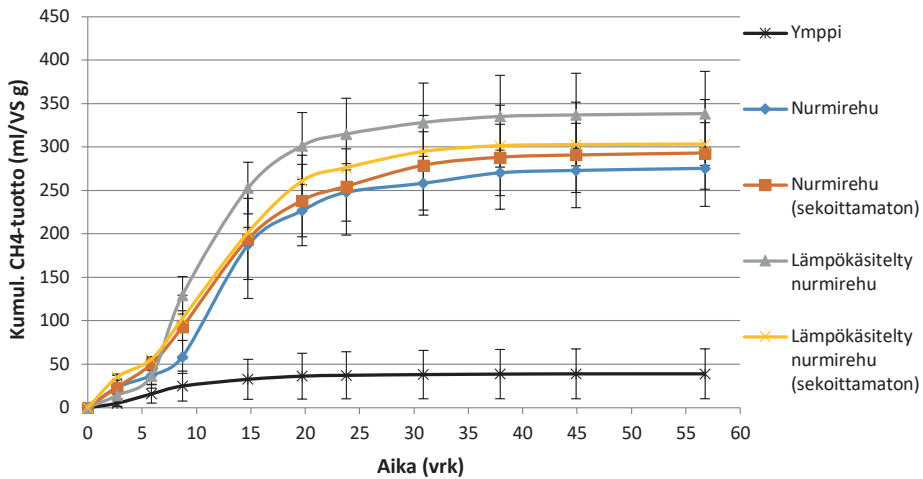
LABORATORIOMITTAKAAVAN PANOSKOKEIDEN TULOKSET

Koesarja aloitettiin 3.9.2018, ja se päättyi 30.10.2018. Kokeen kesto oli 57 päivää. Panosko-keet oli tarkoitus päättää jo neljän viikon jälkeen, mutta siinä vaiheessa panokset tuottivat vielä selkeästi kaasua. Tästä syystä panoskokeiden annettiin olla toiminnassa vielä toiset neljä viikkoa. Pitkään jatkunut kaasuntuotanto selittynee osittain nurmirehun taipumuk-sella hitaaseen hajoamiseen. Lisäksi käytössä ollut ymppe oli peräisin biokaasulaitoksen uudelleenkäynnistysvaiheesta, joten sen toimintakyky ei ollut aivan normaalilla tasolla. Panoskokeen biokaasuntuotto (ml/VSg = millilitraa/gramma orgaanista ainetta) on esitetty kuvassa 2 ja metaanintuotanto kuvassa 3.



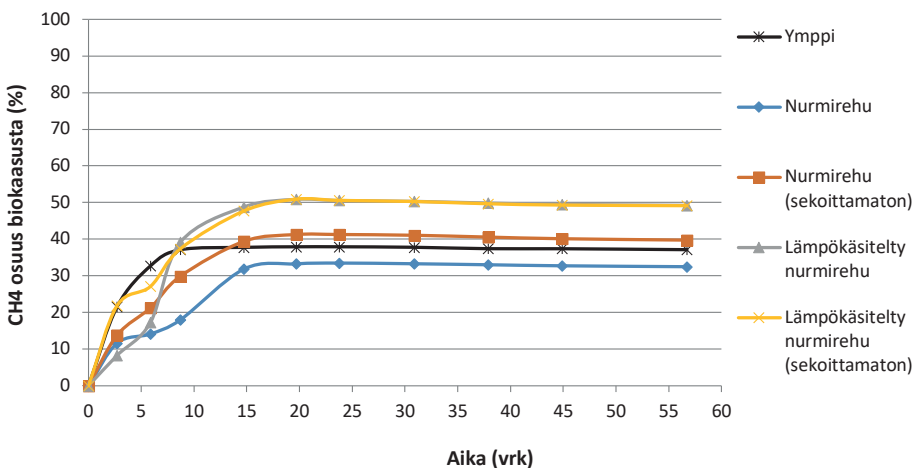
KUVA 2. Kumulatiivinen biokaasuntuotto (ml/VS g).

Kuten kuvasta 2 voidaan nähdä, lämpökäsittelemätön nurmirehu tuottaa jonkin verran enemmän biokaasua kuin lämpökäsitelty. Lisäksi nähdään, että sekoittaminen edistää biokaasun tuotantoa sekä esikäsitellyllä että esikäsittelemättömällä nurmirehulla.



KUVA 3. Kumulaatiivinen metaanintuotto (ml/V5 g).

Toisin kuin biokaasuntuotanto oli parempi esikäsitlemättömillä nurmirehuilla, metaanintuotanto on jonkin verran korkeampi lämpökäsitellyillä nurmirehuilla. Ero sarjojen välillä ei kuitenkaan ole kovin suuri. Myös sekoittamaton, esikäsitlemätön nurmirehu tuotti hieman paremmin metaania kuin sekoitettu vertailusarja. Sarjojen välinen keskiahajonta tosin kattaa molemmat tulokset, joten tästä syystä tulos ei ole niin merkittävä. Joltain osin tätä tulosta voi selittää se, että sekoitettaessa pulloista vapautuu myös muita kaasuja, kuten hiilidioksidia, jotka taas pienentävät kyseisten pullojen metaanin kokonaispitoisuutta. Tämä näkyy myös kuvassa 4, jossa on esitetty metaanin ja biokaasun välinen suhde.



KUVA 4. Metaanin osuus (%) biokaasusta.

Lämpökäsitellyn nurmirehun metaanin osuus biokaasussa nousi selkeästi nopeammin kuin käsittelemättömän. Vaikka esikäsittelemättömän nurmirehun metaanipitoisuus nousi ajan myötä, se ei saavuttanut samaa tasoa lämpökäsitellyn kanssa.

Taulukossa 1 on esitetty panoskoesarjassa tutkittujen materiaalien biokaasun ja metaanintuottopotentialit orgaanista ainetta (VS = Volatile solids) kohden per tonni. Tuloksista on vähennetty käytetyn ympin biokaasun ja metaanintuotto, jotta voidaan tarkastella itse syötteen biokaasun- ja metaanintuottopotentialia. Kuten jo aiemmista kuvista nähtiin, lämpökäsittelemätön nurmirehu tuotti eniten biokaasua. Biokaasuntuottopotentiali heikkeni sitä mukaa, kun sekoitus väheni ja lämpökäsittely tuli mukaan. Päinvastainen suunta oli taas metaanintuottopotentialilla.

TAULUKKO 4. Määtettyjen panosten biokaasun- ja metaanintuottopotentialit orgaanista aine-tonnia (tVS) kohti

Panos	Biokaasu, m ³ BK / tVS	Metaani, m ³ CH ₄ / tVS
Nurmirehu	743	237
Nurmirehu (sekoittamaton)	632	254
Nurmirehu (esikäsitelty)	582	271
Nurmirehu (esikäsitelty, sekoittamaton)	512	264
Viherrehu (kirjallisuusarvo)		300–450 ^a

^aLuste et al. 2013, Lehtomäki 2006.

LÄHTEET

Lehtomäki, A. 2006. Biogas production from energy crops and crop residues. PhD thesis. Jyväskylä Studies in Biological and Environmental Science 163. University of Jyväskylä, Finland.

Luste, S., Soininen, H. & Seppäläinen, S. 2013. ES BIO-hankkeen loppujulkaisu, Energiaomavarainen maatila. Helsingin yliopiston julkaisusarja. Etelä-Savossa saatavilla olevien orgaanisten materiaalien soveltuvuus biokaasulaitoksen raaka-aineeksi – metaanintuotto-potentiaalit, yhteismädätys ja hygienia, ISSN 1796-0649.

KANSAINVÄLISTÄ YHTEISTYÖTÄ YMPÄRISTÖN TILAN PARANTAMISEKSI

Tuija Ranta-Korhonen & Hanne Soininen & Harri Huhta & Elina Nurmi

Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu ja Luonnonvarakeskus Luke toteuttavat yhdessä venäläisten partnerien kanssa Safe Environment and Cleaner Waterways to Blue Baltic Sea – LUGABALT2 -hanketta. Hankkeen pääpartneri on Municipal Fund for Support of Development of Economics and Entrepreneurship of the Luga District, ja Venäjän puolelta muita partnereita ovat Institute for Engineering and Environmental Problems in Agricultural Production – Branch of Federal State Budgetary Scientific Institution ”Federal Scientific AgroEngineering Centre VIM” sekä Interregional Public Organization ”Society for Assistance of Sustainable Rural Development”. Hanketta rahoittaa Kaakkois-Suomi – Venäjä CBC 2014–2020 -ohjelma, ja sen toteutusajaksi on 1.2.2019–31.7.2021. Hankkeessa jatketaan yhteistyötä ja toimenpiteitä, joita toteutettiin aiemmalla ohjelmakaudella LUGABALT – Clean rivers to the Healthy Baltic sea -hankkeessa.

ITÄMEREN TILAA PITÄÄ EDELLEEN PARANTAA

Hankkeen merkittävänä, eri toimenpiteet kokoavana tavoitteena on viime kädessä Itämeren mutta samalla pienempienkin vesistöjen tilan parantaminen. Vaikka rehevöitymisen ja mereen päätyvien ravinteiden vähentämiseksi on tehty pitkäjänteistä työtä jo pitkään useissa eri toimijoiden ja alueiden myös rajat ylittävissä hankkeissa, on Itämeren tila edelleen huono. Tämä johtuu suurelta osin siitä, että meren omat ominaispiirteet pitävät yllä sisäistä ravinnekuormitusta. Suomen ympäristökeskuksen talvella 2019 tehdyissä tutkimuksissa todettiin, että Suomenlahden pohja-alueiden happitilanne on heikko ja Selkämerelläkin syvänteiden happitilanne on huonontunut. Pohja-alueiden heikko happitilanne aiheuttaa fosforin vapautumista pohjasedimenteistä. Toisaalta myös ulkoisen kuormituksen vähentämisellä on edelleen merkitystä. Tämä edellyttää laaja-alaista kansainvälistä yhteistyötä Itämeren rantavaltioilta. (SYKE 2019)

LUGABALT2-hankkeen Venäjän puoleisella kohdealueella keskitytään Suomenlahteen laskevan Luga-joen valuma-alueella toteutettaviin kauaskantoisiin toimenpiteisiin. Näitä toimenpiteitä ovat muun muassa haja-asutusalueiden jätevesihuollon ja jätehuollon kehittäminen, maatalouden ja erityisesti karjatalouden päästöjen todentaminen ja vähentäminen

sekä ympäristökasvatus erityisesti nuorille kansalaisille. Suomen puolella kohdealueella on Mikkelin alapuolinen Saimaa sekä Mikkelin alueella Saimaaseen laskevat joet, kuten 7-niminen joki ja Urpolan joki (kuva 1). Saimaan kautta ravinteet vaikuttavat lopulta myös Itämereen. Suomen puolella tutkittavia toimenpiteitä jo aiemmin mainittujen lisäksi ovat hulevesien käsittelyn parantaminen, vesikasvien poisto sekä hoitokalastus.



KUVA 1. Urpolan joen maisemaa (kuva Manu Eloaho).

JÄTEHUOLLON KEHITTÄMINEN

Yhtenä hankkeen tavoitteena on etenkin pientalouksien jätehuollon kehittäminen Lugaan alueella Venäjällä. Tavoitteeseen pyritään tässä vaiheessa koulutuksen ja tiedottamisen avulla. Kohderyhminä ovat muun muassa alueen kiinteistönomistajat, paikallisviranomaiset sekä maanviljelijät. Kurssien aiheena on muun muassa orgaanisen jätteen kompostoiminen, jätteen syntypaikkalajittelu, jätteen määrän vähentäminen sekä erilaiset jätehuoltoa varten tarvittavat säiliöt ja rakenteet.

Hankkeessa tarkastellaan ja kartoitetaan myös parhaita menetelmiä jäteöljyn hävittämiseen, jota Venäjän puolella ei ole järjestetty samalla tavalla kuin Suomessa. Lisäksi suomalaiset

partnerit tekevät kannattavuuslaskentaa biokaasulaitokselle ja biokaasun liikennekäytölle. Toimenpiteessä kerrotaan myös Suomessa käytössä olevista vaarallisen jätteen keräys-, lajittelu- ja käsittelymenetelmistä.

JÄTEVESIEN KÄSITTELYN PARANTAMINEN

Hankkeessa pyritään parantamaan jätevesien käsittelyä Lugan kaupunkia ympäröivällä haja-asutusalueella. Alue on suosittua vapaa-ajanviettoseutua, jossa on paljon muun muassa pietarilaisten loma-asutusta. Alue vertautuu näin Etelä-Savoon lomanvietto- ja virkistyspaikkana, jossa ympäristöstä huolehtiminen on ensiarvoisen tärkeää. Kiinteistöjen jätevesijärjestelmät ovat monesti puutteellisia, minkä vuoksi asumisjätevedet kuormittavat huomattavasti pohjavesiä ja vesistöjä. Hankkeessa suunnitellaan ja toteutetaan edullinen jätevesien käsittelyjärjestelmä 1–2 pilot-kiinteistöön. Toimenpiteen toteuttaminen aloitetaan tilanteen kartoittamisella ja rakentamisen jälkeen jätevesijärjestelmien toimintaa seurataan. Toimenpiteessä tuotetaan myös neuvontamateriaalia paikalliselle väestölle sekä selvitetään jätevesilietteen eri käyttömahdollisuuksia ja -kohteita.

MAATALOUDEN AIHEUTTAMAN VESISTÖKUORMITUKSEN VÄHENTÄMINEN

Hankkeessa arvioidaan myös alueen maa- ja karjatalouden vesistövaikutuksia mallinnuksen ja näytteenoton avulla. Tutkimuskohteiksi valitaan vesistöjen äärellä tai lähistöllä sijaitsevia maatiloja Lugan ja Etelä-Savon alueelta. Vesistöjen tilaa ja veteen päätyvän liukoisen typen ja fosforin määriä monitoroidaan näytteenoton avulla. Näytteenoton tulosten perusteella voidaan tutkia mallinnuksen onnistumista ja mallia voidaan tarvittaessa säätää paremmin todellisia pitoisuuksia vastaavaksi.

Mallin toimivuutta arvioidaan myös Mikkelin alapuolisen Saimaan alueella. Lisäksi mallia on tarkoitus vertailla Suomessa käytössä olevien mallien, kuten vesistömallinnusjärjestelmä VEMALAn, kanssa. Toimenpiteen tarkoituksena on löytää keinot arvioida maatalouden vesistövaikutusta ja tapoja vähentää vesistökuormitusta Leningradin alueella. Aiemmallalla rahoituskaudella toteutetussa LUGABALT-hankkeessa tuotettiin Lugan alueella sijaitseville pilot-karjatiloilte ohjeistus lannan käsittelyn parantamiseksi. Ohjeistuksen tekoa jatketaan edelleen ja sitä laajennetaan. Lisäksi maatiloille tehdään tarkastelu orgaanisen jätteen eri käyttömahdollisuuksista ja lasketaan maatilojen ravinnetase. Hanke tekee yhteistyötä toisen, lähes samojen partnereiden toteuttaman saman ohjelman EcoAgRAS-projektin kanssa. Projektissa investoidaan ja toteutetaan Karjalan kannaksella sijaitsevan suuren lypsykarjatilän lannankäsittelyjärjestelmä ja tehdään lannan hyödyntämissuunnitelma. Lisäksi tuotetaan perustietoa Leningradin alueen maataloudesta ja ravinnekuormituksesta.

VESIENHOIDOLLISET TOIMENPITEET

Hankkeessa tutkitaan kohdealueiden vesistöjen tilaa sekä Suomen että Venäjän puolella. Tarkoituksena on kehittää ja tarkastella yhteisiä indikaattoreita pintavesien kemiallisen laadun ja biodiversiteetin tutkimista ja vertailua varten. Tällä tavoin kohdealueiden pintavesien tilaa voidaan kattavasti vertailla. Toimenpiteessä tehdään myös vedenlaadun mittauksia vesistöalueilla, joilla epäillään karjatalouden ja muiden tekijöiden aiheuttamaa kuormitusta. Suomen puolella mittauksia toteutetaan näytteenoton lisäksi myös online-tekniikalla.

YMPÄRISTÖKASVATUS JA PARHAAT KÄYTÄNNÖT JA TEKNIikka

Hankkeessa perustetaan Lugaan alueelle ainakin alkuvaiheessa melko pienimuotoinen luontokeskus, jossa esitellään alueen luontoa ja ympäristöä ja ympäristön suojelua. Mallina tai referenssinä käytetään suomalaisia ja Venäjällä sijaitsevia luontokeskuksia. Tarkoituksena on myös levittää eri aihepiireihin kuuluvia ympäristöystävällisiä, parhaita käytänteitä viestinnän avulla. Tällaisia käytänteitä ovat muun muassa jätteen syntypaikkalajittelu ja parhaat vesiensuojelumenetelmät. Hankkeen kohderyhminä ovat haja-asutusalueiden asukkaat, maatalousyritykset sekä kohdealueiden nuoret ja lapset. Hankkeen venäläiset partnerit vierailevat Suomessa sijaitsevilla luontokeskuksissa (esimerkiksi Urpolan luontokeskus), joista on tarkoitus ottaa mallia ympäristökeskuksen perustamisessa. Hankkeessa perustetaan myös tietokanta, johon tulee tietoa Lugaan ja Mikkelin alueen luonnosta ja ympäristöstä sekä erilaisista keinoista havainnoida ympäristön tilaa.

YHTEISTYÖ ON TÄRKEÄÄ

Pitkäaikainen yhteistyö hankepartnerien kesken antaa kattavaa ja tarkkaa tietoa kohdealueiden ympäristön tilasta ja auttaa vaihtamaan kokemuksia ja tietoa parhaista toimintatavoista ja parhaan tekniikan käyttöönotosta. Lugaan perustettavan ympäristökeskuksen ja hankkeessa kehitettävän tietokannan ansiosta hankkeen tulokset jäävät kohdealueiden asukkaiden ja muiden kohderyhmien käyttöön myös hankkeen päättymisen jälkeen. Hankkeen kick-off-tilaisuus pidettiin maaliskuussa 2019 Lugaan (kuva 2).



KUVA 2. LUGABALT2-hankkeen toteuttajia maaliskuussa 2019 Lugassa (kuva Tatjana Minina).

LÄHTEET

SYKE 2019. Suomenlahden happitilanne on poikkeuksellisen huono. [https://www.syke.fi/fi-FI/Palvelut/TutkimusAranda/Suomenlahden_happitilanne_on_poikkeuksel\(49296\)](https://www.syke.fi/fi-FI/Palvelut/TutkimusAranda/Suomenlahden_happitilanne_on_poikkeuksel(49296)).

RUSSIAN-FINNISH BIOECONOMY COMPETENCE CENTRE – BIOCOM PROJECT KICK-OFF EVENT IN MIKKELI

Tuija Ranta-Korhonen & Igor Subbotin & Andrei Erk & Hanne Soininen

South-Eastern Finland University of Applied Sciences is implementing – together with the Institute for Engineering and Environmental Problems in Agricultural Production, a branch of the Federal State Budgetary Scientific Institution “Federal Scientific Agri-engineering Centre VIM” (Lead partner) and Government Agency of the Leningrad Region, a Russian-Finnish Bioeconomy Competence Centre (BioCom) – a project called “Center for energy saving and energy efficiency of the Leningrad Region” Russian-Finnish Bioeconomy Competence Centre – BioCom-project. The aim of the project is to promote energy efficiency and renewable energy sources in agriculture. The Implementation period of the project is from 1 June 2019 to 31 May 2021. The project is funded by the South-East Finland Russia CBC 2014–2020 Programme.

ENERGY EFFICIENCY AND RENEWABLE ENERGY IN AGRICULTURE

The aim of the Biocom project is to mitigate environmental impact caused by agriculture in both Russia and Finland. The environmental impact is partly the result of energy production and use in agricultural manufacturing. To reduce the carbon footprint of agriculture, it is essential to take actions on both food production and efficient usage of agricultural resources. In addition, renewable energy sources and biofuel use could mitigate the carbon footprint of agriculture. Creating the necessary agricultural technologies and using them to adapt national agricultural systems to the changing climate will require innovations in policy and institutions. The guidelines for a more sustainable approach are defined, for example, in the Finnish Bioeconomy Strategy and in the Russian Concept of Sustainable Development of Rural Territories until 2020.

The instruments for introducing and promoting the bioeconomy concept and approaches for agricultural industry are research and life-long learning. A special focus in terms of education will be on energy use, renewable and alternative energy sources, energy efficiency and energy saving. The Bioeconomy competence centre will be located in St. Petersburg and equipped with renewable energy showcases and appliances.

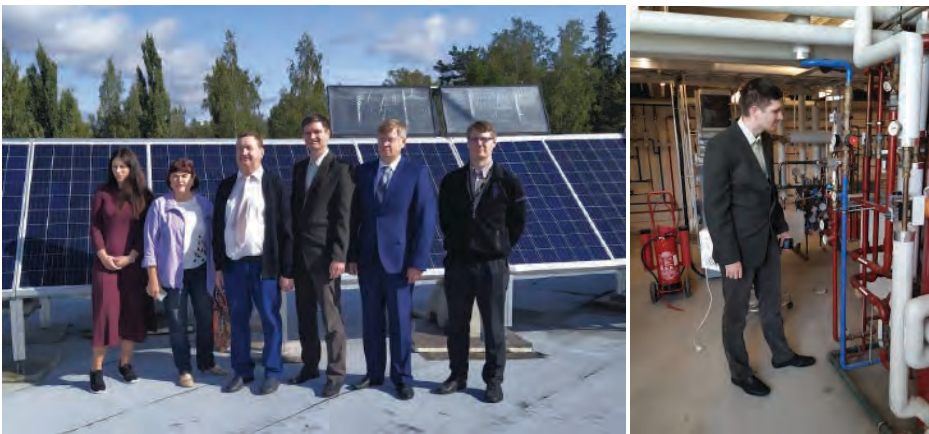
BIOCOM PROJECT KICK-OFF

The project kick-off was organised in Mikkeli in late August. The project partners discussed in detail the implementation of the project's work requirements, tasks, outputs and reporting. In addition, the Communications and visibility actions were planned and discussed. The project's Steering Group was formed and the members of the Steering Group announced.



PICTURE 1. Meeting of project partners and discussions (photo Yevgeny Timofeev).

During the event, the participants also visited the Environmental Laboratory and Laboratory of building services in Xamk Mikkeli Campus (Picture 2).



PICTURE 2. Visit to the laboratory of Building Services (photos Yevgeny Timofeev).

One of the aims of the kick-off event was to give the Russian partners an overview of Finnish practices in terms of bioeconomy, energy efficiency on farms and the production of renewable energy. The participants listened to presentations about bioeconomy in Finland and South Savo; energy efficiency and renewable energy on farms in Finland; solar power and future perspectives in Finland and South Savo; and production of solar modules and cells.

During the last day of the visit, participants visited a local organic cattle farm and learned about practices and perspectives of organic farming (Picture 3). It is obvious that farmers on both sides of the Finnish–Russian border have similar challenges. In addition, climate and natural conditions are very close to each other in both countries.



PICTURE 3. Organic cattle farm (photo Yevgeny Timofeev).

The last stop of the visit was Biohauki Biogas plant in Haukivuori. The visitors learned about the operation of the plant, suitable feedstuff and production of biomethane for vehicles. Near the Biohauki plant area, there is also a solar power station, which provides part of the electricity needed in the biogas plant (Picture 4).



PICTURE 4. Visit to the biogas plant and solar power station (photos Yevgeny Timofeev).

BIOCOM PROJECT: BIOECONOMY PROMOTION IN BORDER RURAL AREAS

Andrei Erk & Igor Subbotin & Irina Uzhinova & Tuija Ranta-Korhonen & Hanne Soininen

Bioeconomy is one of the most important innovative areas in ensuring the sustainable development of various territories and whole states. It is based on the widespread use of biotechnology and the biological renewable resources for production and energy generation. The bioeconomy approach provides additional opportunities to solve global problems such as food shortages connected with population growth, mineral resources depletion and environmental pollution. Modern biotechnology facilitates high life quality, health care and social security.

In the Russian Federation and the Republic of Finland, bioeconomy introduction is actively supported by the respective governments. In April 2012, the Russian Federation approved the State Comprehensive Biotechnology Development Program up to 2020. An important step in accelerating this process was the signing of the Paris Climate Agreement by Russia on 23 September 2019.

Finland is a pioneer in many areas of bioeconomy, including the production of bioenergy and biofuels from organic waste and plant raw materials. To reduce the hydrocarbons in industrial production, Finland adopted the National Strategy for Bioeconomy in 2014 (Picture 1).

STRUCTURE OF FINNISH STRATEGY FOR BIOECONOMY			
STRATEGIC AIMS	Competitive work environment for bioeconomy	Realisation and monitoring	Sustainable decisions in bioeconomy is the base of welfare and competitive ability of Finland
	Support of experiments and new kinds of business in bioeconomy		
	Competence base: development of education, upgrade and research		
	Biomass and raw materials availability for study and processing		

PICTURE 1. Structure of Finnish Strategy for Bioeconomy.

As the world experience shows, bioeconomy in agriculture helps to solve the most pressing problems of the agricultural sector: to reduce energy costs, to increase production efficiency, to restore land resources, to guarantee a good level of employment and a skilled workforce in rural areas. The main tools for promoting biotechnology in Russian and Finnish territories consist of State target programmes, business investments, and national and international projects.

One of such tools is the two-year BioCom project, developed under the Cross-Border Cooperation Program South-East Finland - Russia 2014–2020, which was launched in May 2019. The project aims to create conditions for bioeconomy introduction in rural areas along the border between Russia and Finland.

BACKGROUND

Analysis of literature and comparison of bioeconomy development in Russia and Finland have revealed a number of barriers to the introduction of a bioeconomic approach:

- Data on environment pollution from agriculture is difficult to access
- Poor awareness of local businesspeople and population in bioeconomy
- Limited ways for sharing information
- Lack of educational institutions, which provide training in bioeconomy issues for the agricultural sector and other industries.

As an example of the above situation, the project was kicked off with a quiz for schoolchildren to assess their awareness of bioeconomy and renewable energy sources. 90% of respondents had never heard of bioeconomy. Among the well-known biotechnology devices, only wind generators and solar panels were mentioned. The question “What is the advantage of renewable energy?” more than 60% answered: “They are cheaper” (although in most cases this is not true). Only 40% mentioned environmental aspects (cleaner environment). The quiz results showed, on the one hand, relatively poor awareness of young people in the bioeconomy concept, but on the other hand a positive attitude to renewable energy sources in general.

Project objectives and tasks were formulated based on the problem analysis. They are as follows:

OVERALL OBJECTIVE:

To increase the level of education among young and elderly people and to guarantee skilled workforce.

SPECIFIC OBJECTIVE:

To introduce and promote the bioeconomy concept and approaches for agriculture in cross-border areas by means of capacity-building actions and practical showcases for the local actors in agricultural sector.

MAIN PROJECT TASK:

To organise a sustainable awareness-raising structure, which could provide permanent information, capacity building and research for project target groups, by establishing the Russian-Finnish BioEconomy Competence Centre.

MAIN MISSION OF THE PROJECT:

- To concentrate the best international practices in bioeconomy and environmentally friendly technologies in agriculture, and to convert them into educational programmes accessible to all target groups. The training materials will be supported by the project's website and made available after the project termination.
- To start out the process of and research and life-long training on bioeconomy for sustainable agriculture, with special focus on renewable and alternative energy sources, energy efficiency and saving in the pilot cross-border territories.
- To organise regular professional meetings and tours to exchange views on biotechnologies and their adaptation to the agro-industrial complex (such as engineering, efficiency monitoring, EIA, etc.)
- To promote the bioeconomy integration into the regional and local policies and its adoption by the local industries and communities.

ACTIVITIES OF THE PROJECT

One of the first steps of BioCom project was the Energy Festival “Together Brighter” organised in the city of Luga with the help of the Center for Energy Conservation and Energy Efficiency of the Leningrad Region. Not only the project partners, but also educational institutions and energy companies of St. Petersburg and the Leningrad Region participated in it, contributing to innovative equipment (mini generators, solar panels and water heaters, energy-saving light sources), training materials and promising technologies, projects and existing models (heat pump, hydroelectric power plant).

The current project event concerns the arrangement and purchasing of equipment for the Centre classrooms and Demo zones. At the moment, the Centre is equipped by solar panels, solar water heaters, wind generator, set of light-emissive devices, solid fuel boiler, set of training posters.

PRODUCTS & RESULTS

The following changes are expected as a result of the implementation of the project:

EDUCATION:

Sustainable international platform for the constant education, consulting and discussion in various aspects of bioeconomy.

SCIENCE:

Formation a common system of indicators for the environmental and energy survey of agro-industrial enterprises in Russia and Finland; Joint model concept of the energy efficiency demonstration zone for the agribusiness.

SOCIAL SPHERE:

Fresh competence of agricultural workers, new jobs, wider choice of professions. Higher quality of rural life in pilot areas thank to energy-efficient technologies and environmental health.

INTERNATIONAL COOPERATION:

The best European and Russian innovations could be discussed and disseminated in pilot rural communities. Approved methods of bioeconomy introduction in agribusiness will be achieved. Reasonable balanced decisions in climate change mitigation for the border areas of Russia and Finland is planned.

The expected project results will promote construction of a new information/education space, necessary for the successful transition of pilot areas to practical bioeconomy development.

UUSIA MENETELMIÄ PÄÄSTÖJEN HALLINTAAN

Niina Laurila & Hanne Soininen

Vuoden 2018 alusta voimaan astuneet energiantuotannossa syntyvien päästöjen raja-arvot ovat 1–50 MW kattiloilla huomattavasti tiukemmat puulla ja turpeella kuin kivi- ja ruskohiilellä. Energiategollisuudessa on arvioitu, että biomassaa ja muita kiinteitä biopolttoaineita käyttäviin laitoksiin kohdistuu päästöjen vähennyksestä 430 miljoonan euron investoinnit.

Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulun tehtyjen tutkimusten mukaan hevosenselän ja turpeen yhteispoltossa päästöjä syntyy vähemmän. Seospolttoaineen käyttö ei vaadi erillisiä investointeja. Energiantuotantoyksiköiden päästöjen monitorointi ja hallinta (NOxOpti)-hankkeen tavoitteena on biopolttoaineita käyttävien energiantuotantolaitosten päästöjenhallinnan ja monitoroinnin kehittäminen (kuva 1).

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.



KUVA 1. NOxOpti-hanke tutkii uusia vaihtoehtoisia menetelmiä päästöjen hallintaan (kuva Manu Eloaho).

VAIHTOEHTOINEN MENETELMÄ

Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu on aiemmin tehnyt vaihtoehtoisia polttoaineita käsittelevän tutkimuksen kaukolämpölaitoksella, jossa lämpö tuotetaan normaalisti jyr-sinturpeella ja puuhakkeella. Demonstraatiokokeiden aikana laitos käytti polttoaineenaan turvetta ja hevosenlantaa. Kokeissa havaittiin, että poltettaessa hevosenlantaa savukaasupäästöjen tyyppien oksidipitoisuudet alenivat.

Mahdollisesti hevosenlannan sisältämä ammoniakki on reagoanut typen oksidien kanssa vähentäen niiden pitoisuutta savukaasuissa. Saavutettavissa oleva päästöjen taso on riippuvainen käytettävästä polttoaineeseossuhteesta ja sen sisältämästä ammoniakkimäärästä. Demonstraatiokokeissa havaittiin myös pienemmät rikkidioksidipäästöt, jotka saattoivat olla seurasta hevosenlannan alemmasta rikkipitoisuudesta (Seppänen 2018).

PÄÄSTÖJEN MONITOROINTIA

NOxOpti-hankkeessa kehitetään biopolttoaineita käyttävien energiatuotantolaitosten päästöjenhallintaa ja monitorointia. Hankkeessa selvitetään puuta, turvetta tai puun ja turpeen seosta käyttävien Etelä-Savon keskisuurten energiatuotantoyksiyöiden savukaasu- ja hiukkaspäästöt. Päästömittausten lisäksi kohteista tehdään selvitys käytetyn polttoaineen, kattilatekniikan ja savukaasujen puhdistusratkaisujen vaikutuksista päästöjen laatuun. Tehtävän selvityksen lisäksi tarkastellaan savukaasujen nykykeinoja ja niiden kustannustehokkuutta sekä hiilimonoksidi- ja hiukkaspäästöjen monitorointimenetelmien toimivuutta.

Demonstraatiokokeissa tutkitaan ammoniakkia sisältävän biopolttoaineen (lanta) toimivuus tyyppipäästöjen hallinnassa. Tutkimuksessa käytettävät seospolttoaineet (biomateriaalit) valitaan yhdessä projektiin osallistuvien energiatuotantoyhtiöiden kanssa. Demonstraatiokokeiden aikana monitoroidaan kattilassa tapahtuvia muutoksia ja näiden vaikutuksia päästöihin ja mahdolliseen korroosioon. Saatujen tulosten perusteella vaihtoehtoisille päästöjenhallintamenetelmille tehdään teknistaloudellinen tarkastelu ja selvitetään kustannustehokkuus sekä markkinapotentiaali.

BIOMATERIAALIT SAVUKAASUPÄÄSTÖJEN HALLINNASSA

Tuloksena saadaan tietoa 1–50 MW:n energialaitosten savukaasu- ja hiukkaspäästöistä sekä käytetyn polttoaineen, kattilatekniikan ja savukaasujen puhdistusratkaisujen vaikutuksista päästöjen laatuun. Demonstraatiokokeiden tuloksena saadaan käytännön kokemusta biomateriaalien käytöstä savukaasupäästöjen hallinnassa, mikä mahdollistaa menetelmän laajemman käyttöönoton. NOxOpti-hankkeen tulokset edistävät ympäristönsuojelua sekä Etelä-Savon omavaraisuutta ja biomateriaalien hyötykäyttöä.

LÄHTEET

Seppänen, T., Tuominen, R., Soininen, H., Karhu, H. & Tirkkonen, H. 2018. Polttoaineiden laatuominaisuudet ja hevosenlannan polton vaikutus Juvan kaukolämpökeskuksen savukaasu- ja hiukkaspäästöihin. Xamk kehittää 52, sivu 47.

ENERGIANTUOTANNOSSA SYNTYVIEN KAASUMAISTEN PÄÄSTÖJEN JA HIUKKASTEN VÄHENTÄMISEN RATKAISUT

Salla Pulliainen & Niina Laurila & Seppo Paavilainen

NOxOpti – Energiantuotantoyksiköiden päästöjen monitorointi ja hallinta -hankkeessa selvitetään Etelä-Savon keskisuurten energiantuotantoyksiköiden päästöjen nykytila sekä päästöjen vähentämisen nykykeinot, uudet ratkaisut ja niiden kustannustehokkuus. Hankkeen demonstraatiokokeilla saadaan uutta tietoa biomateriaalien käytettävyydestä energiantuotantolaitosten savukaasupäästöjen hallinnassa. 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.

MCP-DIREKTIIVIN VAIKUTUS SUOMEN ENERGIANTUOTANTOYKSIKÖIDEN PÄÄSTÖRAJOIHIN

EU:n MCP-direktiivissä (medium combustion plant directive) 2015/2193 on säädetty keskisuurten (1–50 MW) polttolaitosten päästöraja-arvot ja tarkkailuvaatimukset. Typen oksidi-, rikkidioksidi- ja hiukkaspäästöt on määritetty direktiivissä polttoainekohtaisesti. Suomessa MCP-direktiivin vaatimukset otettiin käyttöön 1.1.2018 valtioneuvoston asetuksella 1065/2017. Uusia käyttöönotettavia laitoksia koskien asetus tuli voimaan 18.12.2018. Jo toiminnassa olevilla 5–50 MW:n energiantuotantolaitoksilla asetus otetaan käyttöön vuonna 2025 ja pienemmillä 1–5 MW:n laitoksilla vuonna 2030 (VNa 1065/2017).

MCP-direktiivin vaikutus Suomessa näkyy ilmapäästöjen raja-arvojen osittaisella tiukkeneemisellä. Puu- ja muita kiinteitä biopolttoaineita sekä turvetta käyttävillä toiminnassa olevilla energiantuotantoyksiköillä hiukkaspäästöjen päästöraja-arvot tiukkenevat 50–30 mg/m³n raja-arvon ollessa aiemmin 300–50 mg/m³n (katso taulukko 1). (Valtioneuvoston asetukset 750/2013 ja 1065/2017)

TAULUKKO 1. Käytössä olevien energiantuotantoyksiköiden päästöraja-arvot ennen vuotta 2018 (sarake 750/2013) ja päästörajat vuoden 2025 jälkeen 5–50 MW:n laitoksilla ja 1–5 MW:n laitoksilla vuodesta 2030 lähtien (Valtioneuvoston asetukset 750/2013 ja 1065/2017)

Olemissa olevat energiantuotantoyksiköt	Hiukkaset (mg/m ³ n)		NO _x (mg/m ³ n)		SO ₂ (mg/m ³ n)	
	750/2013	1065/2017	750/2013	1065/2017	750/2013	1065/2017
Puu- ja muut kiinteät biopolttoaineet						
1≤P≤5 MW	300 (375)	50	450 (500)	450	200	200
5<P≤10 MW	150 (250)	50	450 (500)	450	200	200
10<P≤20 MW	50 (125)	50	450 (500)	450	200	200
P>20 MW	50 (125)	30	450 (500)	450	200	200
Turve						
1≤P≤5 MW	300 (375)	50	600 (625)	600	500	500
5<P≤10 MW	150 (250)	50	600 (625)	600	500	500
10<P≤20 MW	50 (125)	50	600 (625)	600	500	500
P>20 MW	50 (125)	30	600 (625)	600	500	400
Hiili						
1≤P≤5 MW	50 (140)	50	420 (550)	420	1100	1100
5<P≤10 MW	50 (140)	50	420 (550)	420	1100	1100
10<P≤20 MW	50 (140)	50	420 (550)	420	1100	1100
P>20 MW	50 (140)	30	420 (550)	420	1100	400

Uusien energiantuotantoyksiköiden päästöraja-arvojen muutokset on esitetty taulukossa 2. Typen oksidipäästöjen raja-arvo kiristyy uusilla laitoksilla arvoihin 375–300 mg/m³n, kun käytössä olevilla yksiköillä NO_x-päästöjen raja-arvo on 450 mg/m³n. Turpeella vastaavasti rikkidioksidipäästöjen (SO₂) raja-arvo tiukkenee 400 mg/m³n. Vastaava arvo toiminnassa olevilla tuotantolaitoksilla on 400–500 mg/m³n. (VNa 750/2013, VNa 1065/2017)

TAULUKKO 2. Uusien energiantuotantoyksiköiden päästöraja-arvot ennen vuotta 2018 (sarake 750/2013) ja uudet päästöraja-arvot 2018 lähtien (Valtioneuvoston asetukset 750/2013 ja 1065/2017)

Uudet energiantuotantoyksiköt	Hiukkaset (mg/m ³ n)		NO _x (mg/m ³ n)		SO ₂ (mg/m ³ n)	
	750/2013	1065/2017	750/2013	1065/2017	750/2013	1065/2017
Puu- ja muut kiinteät biopolttoaineet						
1≤P≤5 MW	200	50	375	375	200	200
5<P≤10 MW	50	50	375	300	200	200
10<P≤20 MW	40	20	375	300	200	200
P>20 MW	40	30	375	300	200	200
Turve						
1≤P≤5 MW	200	50	500	500	500	400
5<P≤10 MW	50	30	500	300	500	400
10<P≤20 MW	40	30	500	300	500	400
P>20 MW	40	20	500	300	500	400
Hiili						
1≤P≤5 MW	50	50	270	270	850	400
5<P≤10 MW	40	30	270	270	850	400
10<P≤20 MW	40	30	270	270	850	400
P>20 MW	40	20	270	270	850	400

BIOPOLTTOAINEET

NOxOpti-hankkeessa keskitytään bioenergiaa käyttäviin energiantuotantolaitoksiin. Bioenergia määritellään biomassoista, kuten metsistä, soilta ja pelloilta, saatavaksi uusiutuvaksi polttoaineeksi. Biomassaa ovat lisäksi yhdyskunnissa, maataloudessa ja teollisuudessa muodostuvat polttoon kelpaavat eloperäiset sivuvirrat. (Bioenergia ry) Biopolttoaineiksi luokitellaan näin ollen muun muassa raakapuun lisäksi puu- ja prosessitähteet, hakkeet, metsäteollisuuden ja jätevedenpuhdistamoiden jäteliätteet ja sivutuotteet sekä oljet ja viljat. (Salhoja 2017) Perinteisesti Suomessa käytetyimmät bioenergian lähteet ovat olleet puu ja turve, mutta kiertotalouden periaatteiden myötä myös muita biomassoja on alettu hyödyntää energiana enenevässä määrin (Bioenergieneuvoja 2019). Suurin osa Suomessa käytettävästä puuperäisestä polttoaineesta energiantuotannossa tulee puun toisasteisesta käytöstä, kuten metsäteollisuuden sivutuotteista. Esimerkiksi sahanpurua ja kutterinlastua käytetään seospolttoaineena muiden materiaalien ohella. (Salhoja 2017)

Energiantuotantolaitoksilla poltetaan biomassojen, kuten puun, ohella turvetta eri seossuhteilla. Biopolttoaineiden sisältämät suuret alkali- ja klooripitoisuudet reagoivat poltossa keskenään, jolloin muodostuvat suolat kerääntyvät kattiloiden pinnoille aiheuttaen lämpöpintojen korroosiota. Lisäksi kyseinen reaktio voi edelleen tuhkan sisältämien aineiden kanssa reagoidessaan aiheuttaa tuhkan sulamispisteen alenemista. Rikkipitoisen turpeen polttaminen biomassan seassa vähentää näitä polttoprosessia ja kattilaa kuormittavia ongelmia. (Putkonen 2015) Tällä hetkellä Suomessa nostettava turve on noin 3000 vuotta vanhaa. Turve on hitaasti uusiutuva energianlähde, eikä sitä luokitella uusiutuvaksi energianlähteeksi. Turvetta poltetaan puun kanssa yhteispoltossa, jolloin puhtaamman palamisen lisäksi myös energiateho on korkeampi pelkkään puun polttoon verrattuna. (Turveinfo.fi)

BIOPOLTTOAINEIDEN POLTON PÄÄSTÖT

Biopolttoaineiden laadun vaihtelevuuden ja ympäristöystävällisyysvaatimuksen vuoksi biopolttoaineiden poltto on haasteellisempaa tasalaatuisen polttoaineen polttoprosessiin verrattuna. Biomassan poltossa polttotekniikoina käytetään yleensä arinapolttoa ja leijupolttoa. (Raiko ym. 2017)

Rikkidioksidipäästöt määräytyvät ensisijaisesti polttoaineen rikkipitoisuuden mukaan, mutta tuhkan mineraaliaineksen kalium, natrium ja kalsium sitovat osan rikistä tuhkaan. Puun rikkipitoisuus on pieni, ja tuhka sisältää paljon kaliumia ja kalsiumia, minkä vuoksi valtaosa rikistä jää tuhkaan. Turpeen omasta rikistä sitoutuu palamisessa tuhkaan 10–30 prosenttia, tehokkaimmin leijukerros-poltossa. Turpeen rikkipitoisuus on tavallisesti 0,1–0,2 prosenttia. Joillakin alueilla, lähinnä Itä-Suomessa, rikkipitoisuus voi nousta yli 0,3 prosenttiin. (Ympäristöministeriö 2012)

Typen oksidipäästöjen määrään vaikuttavat polttoaineen kosteus, typpipitoisuus sekä palamiskaasujen lämpötilan ja happipitoisuuden jakauma tulipesässä. Alle 30 MW:n teholuokassa typen oksidien päästöön voidaan vaikuttaa palamisilman vaiheistuksella ja savukaasujen takaisinkierätyksellä.

Puupolttoaineilla typen oksidien päästöt ovat 100–400 mg/m³n, kun jäännöshappipitoisuus on alle 8 prosenttia. Puun poltosta syntyy vähemmän NO_x-päästöjä kuin turpeesta sen alhaisemman typpipitoisuuden ansiosta; turpeen polton NO_x-päästöt ovat useimmiten 400–650 mg/m³n. Vaikeimmin hallittavia ovat vanhat arinakattilat. (Ympäristöministeriö 2012)

Hiukkaspäästöt riippuvat polttoaineiden tuhkapitoisuudesta, käytetystä polttotekniikasta ja erotinlaitteista. Merkittävin osa hiukkaspartikkeleista on peräisin polttoaineen sisältämästä tuhkasta, ja lisäksi partikkelit voivat sisältää palamatonta polttoainetta. Ympäristöön savukaasujen mukana vapautuvan hiukkaspäästön suuruus riippuu ensisijaisesti käytetyistä erotinlaitteista. Polttoprosessin hallinnalla ja polttoaineen laadulla on vaikutusta hiukkaspäästöihin etenkin mahdollisissa häiriötilanteissa. (VTT 2010)

PÄÄSTÖJEN VÄHENTÄMISEN NYKYKEINOT

Typhen oksidien lähteenä toimivat palamisilma sekä polttoaineen sisältämä orgaaninen tyyppi. Rikin lähde on polttoaine, josta rikki vapautuu polton aikana savukaasuihin. Osa vapautuneesta rikistä sitoutuu tuhkan maa- ja maa-alkalimetalleihin, ja osa hapettuu rikkioksidiksi. (A. Huttunen, 2017, Raiko 1995)

Typhen oksidien muodostumista voidaan vähentää ilman vaiheistuksella (OFA, Overfire Air), jossa palamisilman syöttöä muutetaan kaksi- tai kolmivaiheiseksi. Menetelmällä pyritään pelkistämään typpiyhdisteet ennen kuin ne ehtivät hapettua typpimonoksidiksi. (Salhoja 2017) Typpioksidien muodostumiseen voidaan vaikuttaa myös syöttämällä osa savukaasuista palamisilman joukkoon ennen poltinta. Savukaasujen kierrätysmenetelmä laskee prosessin lämpötilaa ja happipitoisuutta, jolloin palamisreaktio hidastuu ja typpimonoksidin muodostuminen vähenee. (Salhoja 2017) NO_x-päästöjä on mahdollista vähentää käyttämällä low-NO_x-polttimia, joissa niin ikään hyödynnetään sekä ilman vaiheistusta että savukaasujen kierrätystä.

Typhen oksidien syntymistä pyritään estämään palamisteknisten keinojen lisäksi selektiivisellä ei-katalyyttisellä menetelmällä (SNCR) sekä selektiivisellä katalyyttisellä menetelmällä (SCR). SNCR-menetelmässä typpimonoksidi pelkistetään molekyylytipeksi (N₂) aminoradikaaleilla (NH_{4i}), joita saadaan 900 °C:n lämpötilassa savukaasuihin ruiskutetusta ammoniakista tai ureasta. Selektiivisessä katalyyttisessä menetelmässä (SCR) ammoniakki lisätään savukaasuihin katalyytin avulla 250–500 °C:n lämpötilassa erillisessä reaktorissa. Menetelmistä SNCR on halvempi kuin SCR mutta myös tehottomampi, sillä menetelmä poistaa savukaasuista vain typpimonoksidia. SCR-menetelmällä voidaan savukaasuista poistaa sekä typpimonoksidia että typpioksidia. Molemmissa menetelmissä ongelmana ovat mahdolliset ammoniakkipäästöt ja -slip eli reagoimattoman ammoniakkin jääminen savukaasuihin. SNCR-menetelmän haittana on myös kapea toiminta-alue. SCR-menetelmässä haittana ovat muun muassa katalyytin likaantuminen ja myrkyttyminen. (A. Huttunen 2017) Selektiivinen ei-katalyyttinen NO_x-pelkistys (SNCR-menetelmä) on biovoimallaisissa yleisimmin käytetty typhen oksidien vähennysmenetelmä, ja sillä päästään 40–80 prosentin vähennykseen typpimonoksidipäästöistä (Salhoja 2017).

Ensisijainen rikkidioksidipäästöjen hallinta voidaan suorittaa käyttämällä vähärikkisempää polttoainetta tai seospolttoaineena muun muassa puuta ja kalkkipitoista tuhkaa, joka samalla vähentää poltossa muodostuvien pienhiukkasten määrää. Savukaasuista SO₂:ta voidaan vähentää märkä-, puolikuiva- ja kuivamenetelmillä sekä regeneroivalla menetelmällä. Kaikissa menetelmissä rikkidioksidi poistetaan muodostamalla rikistä ja kalkkivesä kalsiumsulfaattia. Märkämenetelmässä rikkidioksidin poisto tapahtuu ruiskuttamalla kalkkikiveä erillisessä kammiossa 70–90 °C:n lämpötilassa. Puolikuivassa menetelmässä kalkkiviliuos sumutetaan pieninä pisaroina 140–400 °C:n lämpötilassa savukaasukana-

vaan tai erilliseen kammioon, jossa se reagoi rikin kanssa muodostaen kalsiumsulfaattia. Kuivamenetelmässä käytetään kalkkia, kalkkikiveä tai sammutettua kalkkia, joka syötetään joko erilliseen reaktoriin tai tulipesään. Tällä menetelmällä saadaan kidevedellistä rikkisulfaattia ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$). Regeneroivassa menetelmässä rikkidioksidin sorbetti regeneroidaan termisesti tai kemiallisesti uudelleen käytettäväksi. Menetelmässä syntyy konsentroitunutta rikkidioksidia. (A. Huttunen 2017)

HIUKKASPÄÄSTÖJEN VÄHENNYSMENETELMÄT

Poltossa muodostuvia hiukkasia on mahdollista vähentää märkäpesureilla, kuitusuodatuksella ja sähkösuodattimilla. Ensimmäisessä menetelmässä hiukkasten vähennys tapahtuu savukaasujen märkäpesureilla, joissa savukaasujen pesun lisäksi poistetaan hiukkasia sekä otetaan talteen osa savukaasujen lämmöstä. Kuitusuodattimissa savukaasu johdetaan yhden tai useamman kuitusuodatinpussi- tai letkurivin läpi. Tällä menetelmällä päästään hyvään erotustehokkuuteen; pienillä hiukkasilla 99 prosenttiin ja kokonaistehokkuus kaikille hiukkasille on 99,95 prosenttia (Pessa 2016). Hiukkassuodatuksessa käytetyimpänä menetelmänä ovat sähkösuodattimet, jotka toimivat kolmivaiheisesti: aluksi partikkelit varataan koronapurkauksen avulla, sen jälkeen ne kerätään positiiviselle keräinelektrodille ja lopuksi elektrodin pinta puhdistetaan.

UUDET RATKAISUT PÄÄSTÖJEN HALLINTAAN

Poltossa syntyvien typen oksidien vähentäminen on mahdollista toteuttaa ammoniakkipitoisella biopolttoaineella. Tuloksia tästä on saatu Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulun vuosina 2017–2018 toteuttamassa HevosWatti – Hevoselannan demonstraatiokokeet Etelä-Savon elinkeinoelämää vahvistamaan -hankkeessa, jossa tutkittiin hevoselannan toimivuutta seospolton raaka-aineena muun muassa syntyvien päästöjen osalta. Hankkeessa toteutettujen demonstraatiokokeiden perusteella hevoselantaa poltettaessa savukaasupäästöjen typen oksidien ja rikkidioksidipäästöt olivat matalammat ilman lantaa tapahtuvaan polttoon verrattuna. Typen oksidien päästöjen vähenemisen taustalla on mahdollisesti lannan sisältämä ammoniakki, joka reagoi poltossa typen oksidien kanssa. (Seppänen ym. 2018)

SÄHKÖISEEN VARAUKSEEN POHJAUTUVA HIUKKASSUODATIN

Tassu ESP Oy valmistaa sähköiseen varausteknologiaan perustuvia sovelluksia hiukkassuodatukseen. Tassu EDF (Electric Diffusion Filter) -suodattimen varausteknologia perustuu hiukkasten diffuusiovaraukseen, joka on erityisen tehokas etenkin pienten partikkeleiden varaamisessa. Suodattimen ionipurkaus saa puhtaalla ilmalla savukaasuun johdetut ionit sinkoilemaan tilassa, jolloin ne luovuttavat varauksensa savukaasussa oleville pienhiukkasille. Varatut hiukkaset suodattuvat siten esimerkiksi lämmityskattilan tai yleisesti käyte-

tyyn syklonin sekä märkäpesurin metallipinnoille. Yksinkertaisen rakenteensa ja vähäisen tilantarpeensa ansiosta sovellus on helposti integroitavissa biolämpölaitosten kattiloihin. (Paavilainen 2019)

OEKOSOLVEN HIUKKASSUODATIN

Sveitsiläinen OekoSolve AG kehittää ja valmistaa sähköstaattisia hiukkassuodattimia puu-pohjaisia biomassoja polttaville laitoksille. OekoSolven polttoaineen Neviro-kuivaimessa yhdistyvät polttoaineen kuivaus ja hiukkaspäästöjen vähentäminen. Menetelmässä savu-kaasujen lämpötila on 140–200 °C, ja ne johdetaan kosteana hihnalle syötettävän poltto-ainekerroksen läpi. Kuuma kaasu haihduttaa polttoaineesta ylimääräistä kosteutta pois, ja kaasun sisältämät karkeat hiukkaset erottuvat kaasusta. Toisessa vaiheessa kaasuun jääneet pienemmät hiukkaset poistetaan sähköstaattisella hiukkassuodatuksella. Säädettäessä syötettävän kaasun lämpötilaa ja polttoainekerroksen paksuutta voidaan esikuivauksen tehoa optimoida; esikuivaamalla polttoaineen palaminen on täydellisempää ja siten päästöt vähäisempiä ja polttoaineesta saatava hyötysuhde korkeampi. Neviro-kuivaimen teknologiaa voidaan käyttää jopa 10 MW:n energiantuotantoyksiköissä. Teknologia sopii kaikille lämmitysjärjestelmille, jotka käyttävät polttoaineenaan kosteaa puuhaketta. Menetelmä laskee polttoaineenkulutusta kuivauksen avulla jopa 15 prosenttia ja vähentää hiukkaspäästöjä vastaamaan sallittuja rajoja. (OekoSolve)

YHTEENVETO

Biopolttoaineiden käyttö energiateollisuudessa on kasvanut voimakkaasti 1990-luvulta alkaen (Salhoja 2017). Kotimaisen bioenergian käyttö vähentää fossiilisten polttoaineiden käyttöä ja lisää kotimaista energiahuoltovarmuutta ja Suomen omavaraisuutta (Bioenergi-aneuvoja 2019). Biopolttoaineiden käyttö edistää lisäksi hiilidioksidineutraaliutta ja siten Suomelle asetettuja ilmastotavoitteita (Salhoja 2017). EU:n MCP-direktiivin myötä valti-
neuvoston asetuksessa 1065/2017 määritettyjen päästöraja-arvojen saavuttaminen energi-
antuotantolaitoksilla voi vaatia suuriakin investointeja, minkä vaikutus näkyy tuotetun
energian hinnassa. Typen oksidien hallinta ammoniakkipitoisen biopolttoaineen avulla
voisi osoittautua kustannustehokkaaksi päästöjen hallintamenetelmäksi.

LÄHTEET

Ympäristöministeriö. 2017. Valtioneuvoston asetus keskisuurten energiantuotantoyksiköiden ja -laitosten ympäristönsuojeluvaatimuksista (1065/2017). Ympäristöministeriö.

Ympäristöministeriö. 2013. Valtioneuvoston asetus polttoaineteholtaan alle 50 megawatin energiantuotantoyksiköiden ympäristönsuojeluvaatimuksista (750/2013).

Bioenergia ry. Tietoa bioenergiasta ja turpeesta. WWW-dokumentti. <http://www.bioenergia.fi/Bioenergiatietoa>. Luettu 14.3.2019.

Salhoja, P. 2017. NO_x-päästöjen vähennystekniikat Suomen biovoimalaitoksissa. Energia-tekniikan kandidaatintyö. Lappeenrannan teknillinen yliopisto. PDF-tiedosto.

Bioenergianeuvoja. 2019. Biopolttoaineet. WWW-dokumentti. <http://www.bioenergianeuvoja.fi/biopolttoaineet/>

Putkonen, T. 2015. Kattilatekniikat biopolttoaineille alle 5 MW:n teholuokassa. Energia-tekniikan kandidaatintyö. Lappeenrannan teknillinen yliopisto. PDF-tiedosto.

Turveinfo.fi. Tutkittua tietoa turpeesta. WWW-dokumentti. <http://turveinfo.fi/ukk/>. Luettu 14.3.2019.

Raiko, R., Kirvelä, K., Tolvanen, H., Pääkkönen, A. Tampereen teknillinen yliopisto 2017. Polttotekniikan perusteet. PDF-tiedosto.

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

Leinonen, A. VTT, 2010. Turpeen tuotanto ja käyttö: Yhteenvedo selvityksistä. PDF-tiedosto.

Huttunen, A. 2017, Ympäristönsuojeluvaatimukset energiapalveluliiketoiminnassa. Diplomityö. Aalto-yliopisto Insinööri-tieteiden korkeakoulu. PDF-tiedosto.

Pessa, M. 2016. Suurten polttolaitosten savukaasujen puhdistusmenetelmät. Energiatekniikan kandidaatintyö. Lappeenrannan teknillinen yliopisto. PDF-tiedosto.

Seppänen, T., Tuominen, R., Soininen, H., Karhu, H. ja Tirkkonen, H. 2018. Polttoaineiden laatuominaisuudet ja hevosenlannan polton vaikutus Juvan kaukolämpövoimalaitoksen savukaasu- ja hiukkaspäästöihin. Xamk kehittää 52. Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu, Mikkeli. PDF-tiedosto.

Paavilainen, S. 2019. Tassu EDF – Electric Diffusion Filter -teknologian mahdollisuudet hiukkaspäästöjen vähentämisessä. PDF-tiedosto.

OekoSolve. Neviro – Fuel dryer combined with micro-dust filter. https://oekosolve.ch/wp-content/uploads/2018/10/Neviro-Infolyer_en.pdf. Luettu 21.3.2019.

PUHTAAMMAT POLTTOPROSESSIT BIOMATERIAALEILLA

Juha Vihavainen & Niina Laurila

Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulun toteuttamassa NOxOpti – Energiantuotantoyksiköiden päästöjen monitorointi ja hallinta -hankkeessa selvitetään Etelä-Savon keskisuurten (1–50 MW) energiantuotantoyksiköiden savukaasupäästöjen nykytila ja keinoja pienentää typpi- ja rikkipäästöjä. Polttoaineena mittauskohteissa käytetään puuta tai turvetta tai niiden seoksia. Hanketta rahoittaa Etelä-Savon ELY-keskus Euroopan aluekehitysrahastosta, TAH Säätiö ja Etelä-Savon Energia Oy. Lisäksi hankkeen yhteistyökumppaneita ovat Suur-Savon Sähkö Oy, Savcor Oy ja Tassu ESP Oy.

PÄÄSTÖJEN VAIKUTUKSET ILMASTOON JA TERVEYTEEN

Puu ja turve ovat merkittävimmät kiinteät polttoaineet Suomen pienissä energiantuotantolaitoksissa, ja niitä poltetaan tavallisesti seoksina samoissa kattiloissa riippuen polttoaineiden saatavuuksista ja hinnoista (Savolahti ym. 2009, 12). Energiantuotannon yhteydessä syntyvät rikki- ja typpipäästöt aiheuttavat maaperän ja vesistöjen happamoitumista. Ilmakehään joutuessaan typpi- ja rikkioksidit reagoivat ilman sisältämien eri aineiden kanssa muodostaen happamia yhdisteitä (happoja). Syntyneet hapot laskeutuvat maaperään ja vesistöihin muun muassa sateiden mukana. (Hellgren & Heikkinen & Suomalainen 1996, 50)

Happamat laskeumat muuttavat maaperän ja vesistöjen pH-arvoa ja heikentävät puskurointikykyä. Kun happaman laskeuman määrä on riittävän suuri, vesistö tai maaperä ei enää pysty neutraloimaan hapanta laskeumaa. Tämä johtaa muun muassa maaperän ravinnetasapainon muutoksiin ja haitallisten aineiden liukenemiseen maaperästä vesistöihin ja pohjaveteen. Vesistöihin joutuessaan maaperästä liunneet haitalliset aineet ja happamat laskeumat heikentävät kasvien ja eliöiden elinolosuhteita. Happamuuden kasvaessa tavanomainen vesikasvillisuus häviää ja happamuuden edetessä riittävän pitkälle vesistöistä katoavat lähes kaikki kasvillisuus ja eliölajit. (Hellgren & Heikkinen & Suomalainen 1996, 52)

Rikkidioksidit aiheuttavat hengitysteihin päästessään astman oireita ja hengitystieinfektioita. Äkillisiä oireita ovat hengenahdistus, yskä ja keuhkojen supistuminen. Rikin oksidit ovat nykyään Suomessa niin alhaisella tasolla, että niistä ei aiheudu terveyshaittoja. Typen oksidit (varsinkin typpidioksidi) supistavat keuhkoputkia erityisesti korkeina pitoisuuksina, koska oksidit tunkeutuvat syvälle hengitysteihin. Hengitystieoireet lisääntyvät erityisesti

talvella ja pakkasella. Typen oksideilla on mitattu kohonneita pitoisuuksia erityisesti liikennelyympäristöissä. (Halonen 2016, 57)

Erityisesti puunpoltossa syntyy pienhiukkasia, jotka ovat ulkoilmaan levitessään haitallisia terveydelle. Pienhiukkaset (alle 2,5 µm) ovat hiukkasista haitallisimpia, sillä ne saattavat kulkeutua aina keuhkorakkuloihin saakka. Hiukkasiin voi sitoutua myrkyllisiä raskasmetalleja tai hiilivetyjä, jotka aiheuttavat keuhkoissa terveyshaittoja. (SYKE 2019) Pienhiukkasten leviäminen lähialueelle riippuu pääasiassa päästölähteen savupiipun korkeudesta, maapinnan korkeusvaihteluista ja meteorologisista leviämisolosuhteista. (Savolahti ym. 2009, 12)

PÄÄSTÖTASOJEN NYKYTILASELVITYS

Hankkeen 1 työpaketissa selvitetään Etelä-Savon keskisuurten (1–50 MW) energiantuotantoyksiköiden savukaasupäästöjen nykytila. Tarkastelu tehdään niissä energiantuotantolaitoksissa, joissa polttoaineena käytetään puuta, turvetta tai edellä mainittujen polttoaineiden seoksia. Selvitys tehdään kymmenessä Etelä-Savon energiantuotantolaitoksessa.

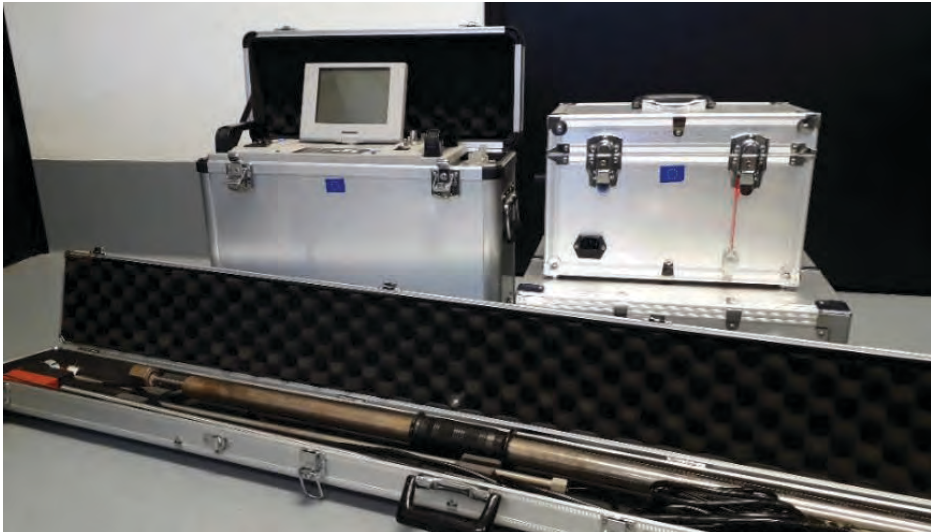
Yksi mitattavista kohteista on Etelä-Savon Energia Oy:n 3 MW:n höyrylämpölaite Tikkalassa, jossa energia tuotetaan kuplapetiteknikalla hakekattilassa. Laitoksella nostetaan kuormaa aamuisin klo 5–11 ja maksikuormalla ajetaan noin klo 11–16. Tuotantoon vaikuttaa laitoksen lähellä olevan elintarviketehtaan höyryntarve. Suurin piikki höyrylämpölaitoksen tuotannossa osuu ajankohtaan, jolloin työ elintarviketehtaalla alkaa eli klo 7–8. Tuotannossa syntyvät savukaasut puhdistetaan syklonilla ennen savupiippuun menemistä.

KÄYTETYT TUTKIMUSMENETELMÄT

Hiukkasmittauksiin käytettiin Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulun ympäristölaboratorion Dr Födisch GMD 12 -laitteistoa ja savukaasun typpi- ja rikki-päästöjen määrittämiseen Testo 350 -laitetta.

Dr Födisch GMD 12 -gravimetrinen hiukkasmittausanalyysointilaite koostuu mittaussyksiköstä, pumpusta ja sondeista (kuva 1). Laitteistolla mitataan kaasun kosteus, nopeus, lämpötila ja paine, jotka rekisteröidään järjestelmään standardiolosuhteissa hiukkasmittauksia varten.

Hiukkasmittauksessa käytetään kvartsikuituisia suodattimia, jotka punnitaan ennen ja jälkeen mittauksen. Näiden painojen erosta saadaan selville hiukkaspitoisuus. Laitteohjeen mukaan suodatin toimii parhaiten pölypitoisuuksissa 0–1 000 mg/m³.



KUVA 1. Dr Födisch GMD 12 -hiukkasmittauslaitteisto (kuva Juha Vihavainen).

Savukaasujen typpi- ja rikki­päästöt mitataan Testo 350 -laitteella. Päästöt mitataan laitteen analysaattorissa olevien elektrokemiallisten sensoreiden avulla. Sensorit mittaavat muun muassa O_2 -, CO -, CO_2 -, NO_x - ja SO_2 -pitoisuuksia perustuen ioniselektiiviseen potentio­metriaan (Testo, Inc).



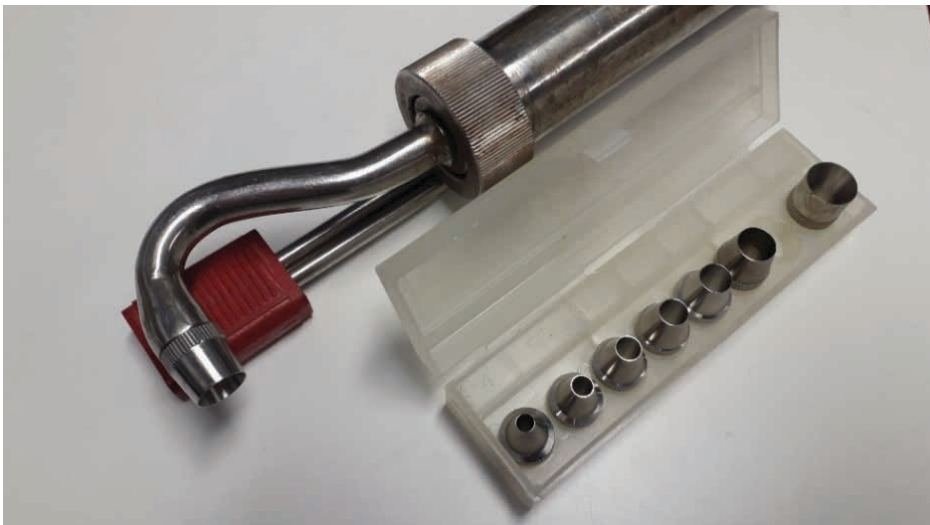
KUVA 2. Testo 350 -savukaasuanalysaattori (kuva Juha Vihavainen).

Analysaattorissa on sisäänrakennettu kondenssiveden poisto ja raitisilmaventtiili sensoreiden puhdistusta varten. Happi- ja hiilimonoksidipitoisuuden mittaaminen tekee laitteesta sopivan myös polttotapahtuman tehokkuuden seuraamiseen.

PÄÄSTÖMITTAUKSET TIKKALAN HÖYRYLÄMPÖLAITOKSELLA

Päästömittaukset suoritettiin 27.11.2019 Tikkalan höyrylämpölaitoksella. Hiukkas- ja savukaasumittaukset aloitettiin noin klo 10:15, jolloin olosuhteet energiantuotannossa olivat normalisoituneet aamusta.

Mittauspisteiden määrä ja sijainti määritettiin selvittämällä kanavan halkaisija ja yhteen pituus kanavan pinnasta. Mittausten aluksi määritettiin savukaasun kosteus ja nopeus sekä sondissa käytettävän suuttimen koko. Savukaasun nopeus määritetään Pitot-putkella, joka mittaa virtauksen staattista ja dynaamista painetta. Näiden arvojen avulla analysaattori laskee kaasun nopeuden kanavassa. Sondin suuttimen oikea koko määritetään kanavassa tehtävällä testimittauksella. Tässä mittauksessa laite määrittää sopivan imunopeuden, jonka perusteella laite ehdottaa virtaukseen sopivaa suutinta, jolla aikaansaadaan isokineettisyys.



KUVA 3. Sondin imusuuttimet (kuva Juha Vihavainen).

Mittaukset suoritettiin savukaasupuhaltimen jälkeisestä kanavasta ennen savupiippua. Mittauspäivänä laitoksen keskiteho oli noin 1,6 MW eli 50–55 prosenttia maksimikuormasta. Laitoksen hiukkaspäästö määritettiin kolmella rinnakkaisella näytteellä ja kahdella nollanäytteellä. Yksittäisen näytteen mittausaika oli 30 minuuttia. Savukaasumittauksia suoritettiin Testo 350 -laitteistolla hiukkasmittausten yhteydessä.

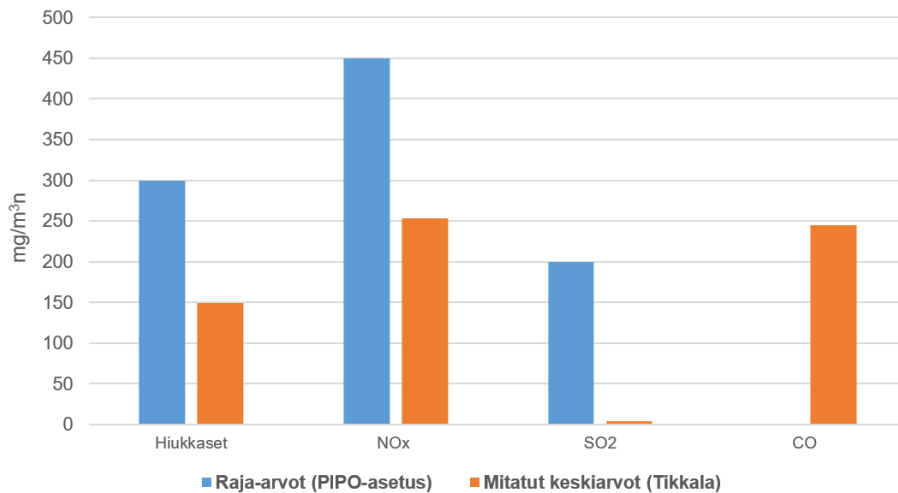


KUVA 4. Päästömittausta Tikkalan höyrylämpölaitoksella (kuva Niina Laurila).

TULOKSET

Keskiarvotulokset savukaasumittauksista on esitetty kuvassa 5 yhdessä PIPO-asetuksen siirtymäkauden päästöraja-arvojen kanssa. Typen oksidipitoisuudeksi mitattiin $253,1 \text{ mg/m}^3\text{n}$ ja SO_2 -pitoisuudeksi $4,8 \text{ mg/m}^3\text{n}$. Keskimääräinen hiukkaspitoisuus oli $148,6 \text{ mg/m}^3\text{n}$. CO-pitoisuus oli $244,6 \text{ mg/m}^3\text{n}$. PIPO-asetuksessa ei ole määritelty raja-arvoa CO-pitoisuudelle, koska sitä tarkastellaan ensisijaisesti säätöparametrina ja toissijaisesti päästösuureena. Epätäydellinen palaminen näkyy korkeina häikäpitoisuuksina, ja sen hallinnalla voidaan vaikuttaa muiden haitallisten päästöjen määrään ja kattilan käytettävyyteen. (Ympäristöministeriö 2012)

Kokonaismittausepävarmuuden arvioitiin olevan savukaasupäästöjen osalta ± 20 prosenttia mitatuista pitoisuuksista ja hiukkaspitoisuuden epävarmuuden ± 30 prosenttia. Mittausepävarmuuteen kuuluvat näytteenoton ja punnituksen virheet, analysaattorien epätarkkuus, savukaasujen kosteuden ja tilavuusvirran määrittelyn epävarmuus ja näistä johtuva laskentaan kohdistuva virhe.



KUVA 5. Savukaasupäästöjen mittaustulokset redusoituna 6 prosentin happipitoisuuteen.

1.1.2018 voimaan tullessa PIPO-asetuksessa siirtymäkauden päästöraja-arvot 1–5 MW:n laitoksilla typen oksideille ovat 450 mg/m³n, rikin oksideille 200 mg/m³n ja hiukkasille 300 mg/m³n (redusoitu 6 % O₂). Siirtymäkauden päästöraja-arvot ovat päteviä olemassa oleville, polttoaineteholtaan 1–50 MW:n energiantuotantoyksiköille, jotka ovat olleet toiminnassa 1.6.2010 tai joiden ympäristölupahakemus on kuulutettu ennen mainittua päivämäärää. (VNa 1065/2017)

Siirtymäajan jälkeen 1–5 MW:n energiantuotantolaitoksilla uudet päästöraja-arvot astuvat voimaan 1.1.2030. Puuta polttoaineena käytävillä laitoksilla päästöraja-arvot 1.1.2030 alkaen typen oksideille ovat 450 mg/m³n, rikin oksideille 200 mg/m³n ja hiukkasille 50 mg/m³n (redusoitu 6 % O₂).

JOHTOPÄÄTÖKSET

Savukaasujen tyyppi- ja rikkipitoisuudet sekä hiukkaspitoisuus olivat mittaussajankohtana PIPO-asetuksen siirtymäkauden päästöraja-arvon alittavissa pitoisuuksissa. Puu sisältää vähän rikkiä, joten puuta polttoaineena käytävillä laitoksilla rikkidioksidipitoisuudet ovat alhaisia.

LÄHTEET

Hellgren, E., Heikkinen, L., Suomalainen, L. 1996. Energia ja ympäristö. Opetushallitus.

Halonen, Aila, 2016. Ympäristöterveys ja yhdyskunnat. Suomen Kuntaliitto.

Savolahti, M., Karvosenoja, N., Kupiainen, K., Paunu V.-V., Silppula, O., Jokiniemi, J. 2009. Hajautetun energiantuotannon vaikutus väestön altistumiseen pienhiukkasille. Suomen ympäristökeskuksen raportteja. Suomen hiukkaspäästöt, 2019. Suomen ympäristökeskus SYKE. Saatavissa: https://www.ymparisto.fi/fi-FI/Kartat_ja_tilastot/Ympariston_tilan_indikaattorit/Ilman_epapuhautudet/Suomen_hiukkaspaaastot%2828647%29

Common Testing Questions. Testo, Inc. Saatavissa: <http://www.testo350.com/testo-350/350anadefsx/350faqs.html>

GMD 12 Product Information, 2017. Dr. Födisch Umweltmesstechnik AG. Valtioneuvoston asetus keskiuurten energiantuotantoyksiköiden ja -laitosten ympäristönsuojeluvaatimuksesta 1065/2017. Saatavilla: <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2017/20171065>

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

TUHKASTA VASTUULLISTA LIIKETOIMINTAA

Tommi Tenhola & Kati Kontinen & Marko Ämmälä & Hanne Soininen & Riina Tuominen

Tuhkalla on suuri hyötykäyttöpotentiaali lannoite- ja maarakennuskäytössä, mutta sitä ei ole toistaiseksi täysin hyödynnetty. Toistaiseksi osa lämpö- ja voimalaitosten tuhkista päätyy edelleen kaatopaikoille aiheuttaen tuhkan tuottajille lisäkustannuksia.

Vastuullista liiketoimintaa tuhkasta -hankkeen tavoitteena on saada lämpö- ja voimalaitosten eri tuhkakajakeet hyötykäyttöön kustannustehokkaasti ja niin, että tuhkasta saadaan paras mahdollinen lisäarvo. Hanke on Tapio Oy:n, Suomen metsäkeskuksen ja Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulun yhteishanke. Hanketta toteutetaan 1.9.2019–31.12.2021, ja sitä rahoittaa Hämeen ELY-keskus Euroopan maaseudun kehittämisen maatalousrahastosta (hankenumero 100042).

ENERGIANTUOTANNON SIVUVIRRAT OSANA KIERTOTALOUTTA

Suomen kansallisen biotalousstrategian tavoitteena on luoda uutta talouskasvua ja uusia työpaikkoja biotalouden liiketoiminnan kasvulla sekä korkean arvonlisän tuotteilla ja palveluilla ja turvata samalla luonnon ekosysteemien toimintaedellytykset. Tuhkan hyötykäyttö kytkeytyy kansallisen kiertotalouden tiekartan ja kiertotalouden toimenpideohjelman (2017) sekä EU:n kiertotaloutta koskevan toimintasuunnitelman toteuttamiseen. Komission 2015 julkaiseman kiertotaloutta koskevan toimintasuunnitelman tavoitteena on ollut lisätä kierrätystä ja uudelleenkäyttöä, jolloin saavutettaisiin sekä taloudellisia että ympäristöhyötyjä. Tavoitteena on maksimoida raaka-aineiden, tuotteiden ja jätteiden arvo ja käyttö ja siten säästää energiaa ja vähentää kasvihuonepäästöjä. Komissio korostaa suunnitelmassa myös kiertotalouteen liittyvien toimintojen, kuten uudelleenkäytön ja kierrätyksen, uusia liiketoimintamahdollisuuksia ja -malleja sekä markkinoiden luomista.

Suomessa tuhkaa syntyy vuosittain noin 1,34 miljoonaa tonnia. Itä-Suomen alueella syntyy vuosittain energiantuotannosta erilaisia tuhkia ja kuonia vajaa 100 000 tonnia. Etelä-Savon maakunnan alueen määrä on vuosittain noin 20 000–22 000 tonnia. (Soininen 2018) Esimerkiksi Päijät-Hämeen alueella tuhkaa syntyy noin 75 000 tonnia, josta hyötykäyttöön ohjautuu vain noin 55 prosenttia (Virtanen ym. 2018). Puun ja turpeen poltosta syntyvistä

tuhkista käytetään lannoitukseen runsaat 15 prosenttia. Tuhkan lannoitekäyttöä säädelään lannoitevalmisteasetuksella. (MMM 2019)

Tuhkaa voidaan käyttää myös maarakentamisessa korvaamaan neutseellistä kiviainesta. Maarakennuksessa tuhkaa on hyödynnetty esimerkiksi teiden rakentamisessa, kenttärakenteissa, valleissa sekä teollisuus- ja varastorakennusten pohjarakenteissa. Vuoden 2018 alusta nk. MARA-asetukseen sisällytettiin mahdollisuus hyödyntää tuhkaa myös metsä- ja yksityisteissä ilman ympäristölupaa. (MARA 2018, Tuhkarakentamisen käsikirja 2012)

Kun tuhkaa käytetään maarakentamisessa tai lannoitteena, on tunnettava tuhkan ominaisuudet ja koostumus (kuva 1). Tuhkan on oltava myös ympäristölle turvallista. Ravinnekostumukseltaan hyvälaatuinen tuhka on hyödynnettävissä lannoitekäyttöön. Vastaavasti ravinneköyhempää tuhkaa voidaan käyttää maarakentamiseen.



KUVA 1. Metsänlannoitusta ja tienrakentamista tuhalla (kuvat Kati Kontinen ja Samuli Joensuu).

Tuhkan käyttömahdollisuuksien edistämiseksi on tärkeää kehittää edelleen tuhkan eri jakeiden lajittelua eri käyttötarkoituksiin jo hyvin varhaisessa vaiheessa tuhkan syntypaikalla. Paikkaan sidottu tietopohja mahdollistaa uusiutuvien luonnonvarojen, tuotannon sivuvirtojen ja kierrätysmateriaalien kestävä hyödyntämisen.

Metsäenergian korvatesa kivihiltä ja öljyä lämmön- ja sähköntuotannossa on varmistettava, että puun polttamisesta syntyvä tuhka hyödynnetään lisäarvoa tuottavin keinoin. Näin on mahdollista saada synnytettyä myös uutta liiketoimintaa tuhkan hyötykäyttöön liittyen etenkin harvaan asutuille alueille.

TUHKAT HYÖTYKÄYTTÖÖN KUSTANNUSTEHOKKAASTI

Lämpö- ja voimalaitosten eri tuhkakajakeet voidaan saattaa hyötykäyttöön kustannustehokkaasti ja niin, että tuhkasta saadaan paras mahdollinen lisäarvo. Vastuullista liiketoimintaa tuhkasta -hankkeessa laaditaan toimintamalli, joka opastaa tuhkantuottajia siihen, miten eri tuhkakajakeet pidetään erillään ja mistä tuhkan eri jakeille voisi löytyä mahdolliset hyötykäyttäjät. Näin tuhkasta saadaan myös eniten lisäarvoa ja kaatopaikalle menevän tuhkan määrä minimoituu. Toimintamallia voidaan hyödyntää myös kannattavuustarkasteluissa, tuhkan jäljitettävyydessä sekä liiketoiminnan suunnittelussa ja seurannassa. Toimintamalliin liittyen kehitetään paikkatietoratkaisu tuhkantuottajien, tuhkatermiinaalien ja hyötykäyttöpaikkojen sijainnin kuvaamiseen.

Viime vuosina on kehitetty useita paikkatietoratkaisuja, jotka liittyvät myös tuhkaan. Niiden tuhkan hyötykäyttöä edistävä vaikutus on kuitenkin jäänyt vähäiseksi, koska tietosisältö ja sen ajantasaisuus ovat olleet puutteellisia. Myös paikkatietoon perustuva alusta, jota kaikki toimijat voisivat hyödyntää, puuttuu tällä hetkellä. Valmiiseen tai rakennettavaan alustaan voidaan tuottaa toimiva palvelu, joka yhdistää tuhkantuottajien eri tuhkakajakeiden tarjonnan sekä loppukäyttäjät. Paikkatietoratkaisu parantaa tuhkan hyötykäyttöä, sen seurantaa ja jäljitettävyyttä sekä tuhkan markkinointia sekä tuhkaa hyödyntävien liiketoimintaa.

Hankkeen kohderyhmänä ovat tuhkantuottajat eli lämpö- ja voimalaitokset sekä tuhkaa hyödyntävät yritykset ja käyttäjät. Hanke hyödyntää myös tuhkan jatkojalostajia sekä jatkojalostuksen arvoketjun toimijoita, kuten lannoitevalmistajia, kuljetusyriityksiä, metsänomistajia, koneurakoitsijoita, metsäpalveluntarjoajia ja metsänhoitoyhdistyksiä sekä muita tuhkaa hyödyntäviä yrityksiä. Tuhkan jatkojalostus, kuten rakeistus lannoitteeksi, edistää sen hyötykäyttöä (kuva 2).



KUVA 2. Energiantuotantolaitoksen tuhkan hyötykäyttöä edistämässä (kuvat Hanne Soininen).

TULOKSENA LISÄARVON KASVATTAMINEN

Laadittavan toimintamallin avulla voidaan parantaa tuhkan tuottajien, hyötykäyttäjien ja tuhkaan liittyvän yritystoiminnan liiketoimintaedellytyksiä ja yhteistyötä. Lisäksi toimintamallin kehittämisellä parannetaan tuhkan markkinapotentiaalia ja lisätään tuhkan vastuullista hyötykäyttöä. Toimijoiden tieto tuhkan hyötykäyttämismahdollisuuksista kasvaa tuhkaan liittyvän yritysneuvonnan kehittämisellä sekä toteuttamalla tuhkaa tuottaville yrityksille nykytilan analyysi yritysneuvonnan yhteydessä. Yritysneuvonnan avulla kehitetään myös nykyisten yritysten kannattavaa liiketoimintaa sekä luodaan uutta yrittäjyyttä tuhkan hyödyntämisen ja jatkojalostamisen ympärille.

Toimintamalli mahdollistaa tiedon saamisen tuhkan hyödyntämispotentiaalista eri käyttötarkoituksiin. Sen avulla toimija osaa arvioida myös niistä aiheutuvat tulot ja kustannukset. Tuhkantuottajat voivat saada lisätuloja tai merkittäviä kustannussäästöjä tuhkan hyötykäytön edistämisestä. Käytössä olevien tietojen avulla tuhkan hyödyntäjät pystyvät suunnittelemaan toimintaansa myös raaka-aineen saatavuuden perusteella.

Toimintamallin ja paikkatietopalvelun avulla voidaan löytää kustannustehokkaita hyötykäyttökohteita tuhkalle ja samalla vähentää loppusijoitukseen menevän tuhkan määrää. Niiden avulla myös ympäristöviranomaisten tieto tuhkantuottajista, sijoituspaikoista ja hyötykäytöstä paranee. Uuden toimintamallin lisäksi hankkeessa hyödynnetään tuhkaan liittyvien alueellisten kehittämishankkeiden tuloksia ja viedään niitä valtakunnalliseen käyttöön.

Tarve tuhkan hyötykäyttöön, sen seurantaan ja yritystoiminnan kasvattamiseen ja kehittämiseen on Suomessa valtakunnallinen. Vastuullista liiketoimintaa tuhkasta -hanke parantaa kiertotalouden edellytyksiä ja tuhkan parissa toimivan elinkeinon kehittämistä.

LÄHTEET

Kansallinen metsästrategia 2025 – päivitys. Valtioneuvoston periaatepäätös 21.2.2019. Maa- ja metsätalousministeriön julkaisuja 2019:7.

Kestävää kasvua biotaloudesta – Suomen biotalousstrategia. 2014. Työ- ja elinkeinoministeriö. Maa- ja metsätalousministeriö. Ympäristöministeriö.

MARA 2018. Valtioneuvoston asetus eräiden jätteiden hyödyntämisestä maarakentamisessa. Soveltamisohje, 54 s.

MMM 2019. Metsät ja puu kiertotaloudessa. 12.7.2019. PDF-dokumentti. Saatavissa: https://mmm.fi/documents/1410837/7764238/Kiertotalous_mets%C3%A4t_ja_puu_kiertotaloudessa_072019.pdf/5ab38304-49d2-65e9-2fc2-5eaefc6a6e23/Kiertotalous_mets%C3%A4t_ja_puu_kiertotaloudessa_072019.pdf [viitattu 15.10.2019].

Pääministeri Antti Rinteen hallituksen ohjelma 6.6.2019. OSALLISTAVA JA OSAAVA SUOMI – sosiaalisesti, taloudellisesti ja ekologisesti kestävä yhteiskunta.

Soininen, Hanne 2018. Improving the environmental safety of ash from bioenergy production plants. Lappeenranta University of Technology. Doctoral Dissertations, 837, 71 s. ISBN 978-952-335-320-6.

Tuhkarakentamisen käsikirja 2012. Energiantuotannon tuhkat väylä-, kenttä- ja maarakentamisessa. WWW-dokumentti. Saatavissa: https://energia.fi/files/1137/tuhkarakentamisen_kasikirja.pdf [viitattu 15.10.2019].

Virtanen, M., Cura, K., Manskinen, K., Uusitalo, V. & Syväne, J. 2018. Päijät-Hämeen materiaalivirtaselvitys. Teoksessa Virtanen M. (toim.). Kiertoliike. Kohti kiertotaloutta Päijät-Hämeessä. Lahden ammattikorkeakoulun julkaisusarja, osa 41.

KAUKOKARTOITUS YMPÄRISTÖN MONITOROINNISSA

Ilkka Lohilahti & Esa Hannus & Aki Mykkänen & Riina Tuominen

Kaukokartoitusmenetelmillä saadaan tietoa tutkittavasta kohteesta ilman fyysistä kontaktia. Suurin osa menetelmistä perustuu sähkömagneettisen säteilyn lähettämiseen ja mittaukseen. Kaukokartoitusta voidaan soveltaa ilmakehän, vesistöjen, maanpinnan sekä ulkoavaruuden kohteiden tutkimuksessa.

Uudet innovatiiviset menetelmät pohjavesien laadun monitorointiin – Uumo -hankkeessa tarkastellaan erilaisten mittaus- ja monitorointimenetelmien soveltumista pohjaveden laadun seurantaan ja etsitään vaihtoehtoja perinteiselle näytteenotolle. Yhtenä osa-alueena hankkeessa tarkastellaan kaukokartoitusmenetelmien soveltumista ympäristön monitorointiin. Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulun hanketta rahoittaa Etelä-Savon ELY-keskus Euroopan aluekehitysrahastosta (EAKR 2014–2020) sekä Mikkelin Vesilaitos ja Rantasalmen kunta.

KAUKOKARTOITUKSEN PERIAATE

Kaukokartoituksessa tietoa kerätään sähkömagneettisen säteilyn avulla ilman fyysistä kosketusta tutkittavaan kohteeseen. Kaukokartoitukseen kuuluu tiedon eli datan hankinnan lisäksi sen siirto, tallentaminen, esikäsittely ja tulosten tulkinta ja niiden esittäminen. (Holopainen ym. 2015)

Kaukokartoituslaitteissa käytettävät sensorit voidaan jakaa niiden toimintaperiaatteen mukaan aktiivisiin ja passiivisiin. Aktiiviset sensorit sekä lähettävät että vastaanottavat säteilyä, passiiviset sensorit vain vastaanottavat. Aktiivisessa kaukokartoituksessa säteilylähde, kuten mikroaalto- tai lasertutka, valaisee kohteen, josta sitten kerätään sen heijastama säteily. Passiivisessa kartoituksessa kerätään kohteen lähettämää tai heijastamaa säteilyä. Passiivisia laitteita ovat esimerkiksi erilaiset kamerat, keilaimet, radiometrit sekä spektrometrit. (Campbell 2002, Xie ym. 2008, Tietopaketti kaukokartoituksesta 2004)

Kaukokartoitus on monipuolinen ja kustannustehokas tapa kartoittaa ja inventoida ympäristön tilaa verrattaessa perinteisiin maastossa tehtäviin menetelmiin. Kaukokartoituksessa kerättyä dataa, kuten valokuvia, tietyllä aallonpituudella verrataan kerättyyn aineistoon eli niin sanottuun referenssiin. Vertailun perusteella voidaan tehdä analysointi esimerkiksi

vesistön sinilevän kasvamisesta vesistöissä. Kartoituksessa yleisesti haittana ja rajoittavana tekijänä ovat monesti sääolosuhteet, aineiston geometrinen erotuskyky sekä tarkkuus. (Holopainen ym. 2015)

Kartoituksessa kerättyjä tietoja hyödynnetään joko pää- tai lisätietona, kun tehdään kartoitusta esimerkiksi vesistöistä, metsistä tai muusta ympäristön tilasta. Suomessa tällä hetkellä eniten kartoitusta hyödynnetään metsätaloudessa sekä peruskartoituksessa. Datan laatu määrittelee huomattavasti, miten monipuolisesti ja tarkasti sitä voidaan hyödyntää eri tilanteissa. (Holopainen ym. 2015)

ERILAISIA KAUKOKARTOITUSMENETELMIÄ

Kaukokartoituslaitteita, kuten kameroita ja erilaisia sensoreita, voidaan sijoittaa lentokoneisiin, helikoptereihin, drooneihin tai satelliitteihin. Droonit, helikopterit ja lentokoneet soveltuvat alueelliseen tutkimukseen, kun taas satelliitit mahdollistavat myös globaalien ilmiöiden havaitsemisen. (Xie ym. 2008)

Satelliittikuvia voidaan tarvittaessa kerätä nopeasti tietyltä alueelta ja siten seurata myös ympäristön muutoksia. Satelliittikuvausta voidaan hyödyntää myös vaikeasti lähestyttävien ja luokse pääsemättömien alueiden kartoituksessa. Kaukokartoituksen ja paikkatietojärjestelmien kehityksen myötä satelliittikuvia voidaan hyödyntää entistä pienemmille kohteille. Satelliittikuvauksessa kuvantaminen tapahtuu optisella aallonpituusalueella avaruudesta. Satelliitti rekisteröi heijastuvaa valoa tai lämpösäteilyä, jossa valospektrit ovat eri alueilla ja kanavilla. Yleisesti kuvauksessa käytetään niin sanottua keilausta, jossa maastoa kuvannetaan lentosuuntaan nähden poikittaista, osittain toisiaan peittäviä linjoja. Keilaus voidaan tehdä yksikanavaisesti esimerkiksi lämpösäteilyä kuvattaessa tai monikanavaisesti havainnoiden useampaa aallonpituusalueita. Kuvauskorkeuden vuoksi kokonaisavauskulma on pieni, joten kuvaus/keilaus tehdään värähtelevän peilin avulla. Metsien ja kasvillisuuden inventoinnissa yleisesti käytettyä satelliittidataa ovat Landsat-satelliittikuvat. (Holopainen ym. 2015, Saarentaus 2000)

Tutkakuvien etu optisen aallonpituusalueen kaukokartoituskuviin verrattuna on niiden saatavuus kaikissa kuvausolosuhteissa. Esimerkiksi satelliittiin sijoitettu SAR-tutka (Synthetic Aperture Radar) lähettää toistuvia, tietyn taajuuden mikroaaltoalueen säteilyimpulsseja ja laitteessa oleva vastaanotin mittaa takaisin tulevaa säteilyä. Yleisesti tässä laitteistossa antenni on sekä lähetin että vastaanotin. Säteily suunnataan haluttuun suuntaan ja tallennetaan siitä saatu takaisin heijastunut säteily, josta muodostetaan kaksikulotteinen tutkakuva. SAR-tutkan etu optisiin kartoitusmenetelmiin verrattuna on niiden toimintatavan perusteena oleva sähkömagneettinen säteily, jota eivät haittaa sääolosuhteet, ilmakedä eikä valon puuttuminen tiedon keräyksessä. Laitteen ominaisuuksilla on kuitenkin merkittävä rooli toimivuuden kannalta. Tällä hetkellä laitteistojen käyttö ei ole kovin suurta, mutta

tekniikan kehittyessä se voi olla erinomainen tapa kartoittaa ympäristön muutoksia. (Holopainen ym. 2009, Holopainen ym. 2015)

Lentokoneesta tehtävistä kuvauksista näkyvän valoalueen (0,5–0,7 μ m) lisäksi voidaan hyödyntää lähi-infran (0,7–0,9 μ m) aallonpituuksia eli alueita, joita ihmissilmä ei normaalisti erota. Näitä kuvia kutsutaan vääräväriviksi. Kuvausta hyödynnetään varsinkin lehti- ja havupuiden erottamisessa toisistaan. Normaalissa näkyvässä valossa havu- ja lehtipuut ovat ominaisäteilyltään lähellä toisiaan, mutta väärävärivissa lehtipuusto näkyy punertavana johtuen sen suuremmasta lähi-infrasäteilystä. Nykyisin kuvauksissa käytetään digitaalisia mittakameroita, joissa on CCD-ilmaisimatriisi (Charge Couple Device). (Holopainen ym. 2015) Yleisesti tätä lentokoneesta tehtyä kuvantamista suoritetaan isoissa kohteissa, esimerkiksi isoissa metsäalueissa ja perinteisessä karttakartoituksessa.

Laserkeilauksessa lentokoneesta tai helikopterista lähi-infra-aallonpituusalueella operoivat laserkeilaimet (ALS, airborne laser scanning) ovat yleistyneet ja olleet suuri kehitysaskel ympäristön seurannassa. Kuvauksessa käytettävä laser koostuu keilainosasta, laserpulsseja tuottavasta lasertykistä ja ilmaisinosasta, joka tulkitsee vastaanotetun, kohteesta heijastuneen pulsin/signaalin sekä määrittelee sen perusteella kohteen etäisyyden. Laserkeilauksessa muodostetaan rasterikuva, pistepilvi tai pintamalli sen perusteella, miten laserpulssein ja kohteen etäisyyteen kuluu aikaa. Tämän lisäksi kuvauksessa hyödynnetään GPS-paikannusta ja tukiasemaa. (Holopainen ym. 2015)

Laserkeilauksen ohessa hyödynnetään myös ilmakuvantamista, jolloin saadaan perinteisen 3D-pistepilvimallin myötä 3D-pistepilvipintamalli. Ilmakuvantaminen on perinteiseen laserkeilaukseen verrattuna kustannustehokas, ja sen etuja ovat varsinkin sävytieto ja visuaalinen kuvainformaatio. Kuvantamisessa hyödynnetään lentokoneista ja helikoptereista otettuja kuvia, mutta ilmakuvantamista ja 3D-kaulukartoitusta voidaan suorittaa myös droonien avulla, jolloin esimerkiksi tilanteiden nopea kartoitus onnistuu reaaliaikaisesti. Nykyaikaisilla kuvausmenetelmillä tarkkuus on huomattavan suuri, jolloin niitä voidaan hyödyntää monipuolisesti erinäisissä kartoituksissa. (Holopainen ym. 2015)

DROONILLA TEHTÄVÄN KAUKOKARTOITUKSEN EDUT JA HAITAT

Kevyillä ja edullisilla lentolaitteilla kuvausten aloittaminen on helppoa ja lentokustannukset ovat alhaiset. Droonien avulla voidaan päästä nopeasti paikkoihin, joihin ei normaalisti maastossa olisi esimerkiksi turvallista tai mahdollista päästä. Tilanteen kartoittamisen lisäksi on usein myös tarve päästä analysoimaan dataa mahdollisimman nopeasti. Kuvantaminen ja seuranta drooneja hyödyntäen ovat huomattavasti kustannustehokkaampia ja erittäin toimivia varsinkin alueilla, joissa tarvitaan nopeasti ajantasainen tilanteen selvittäminen.

Vaikka droneilla kartoitettavien alueiden koko on yleisesti verrattain pieni johtuen muun muassa lentoajasta ja -ajankohdista sekä säästä, ovat kartoitusten nopeus, riittävä tarkkuus ja edullisuus olleet huomattavia kilpailuetuja isompiin laitteistoihin verrattuna. Droonikuvausten yhdistäminen satelliitti- tai ylilentokuvauksiin ei ole toista menetelmää pois sulkeva vaan enemmänkin toisiaan täydentävä kokonaisuus.

Droonin lennätys on pääsääntöisesti sallittu vain siten, että näköyhteys lentolaitteeseen säilyy, ja tällöinkin suurin sallittu lentokorkeus on 150 metriä. Lisäksi lentokenttien läheisyydessä operoitaessa säännöt tiukentuvat yleisistä ohjeista. Alle yhden kilometrin päässä lentokentästä lennättäminen on sallittu vain lentoaseman lennonjohdon erikoisluvalla. Yhden–kolmen kilometrin etäisyydellä lentokentästä voi lentää vain esteiden tasalla, esimerkiksi puiden alapuolella. Yli kolmen kilometrin päässä lentokentästä droonia saa lennättää 50 metrin korkeudessa. Väkijoukon läheisyydessä tai sen yläpuolella lennättämistä ei sallita on oltava vähintään 50 metriä. Tarkempia lennätysohjeita on luettavissa määräyksestä ”OPS M1-32, Kauko-ohjatuun ilma-aluksen ja lennokin käyttäminen ilmailuun”. (Traf 2018)

Droonin kantavuus on huomioitava varustettaessa sitä ylimääräisillä kameroilla tai mittalaitteilla. Painon lisääntyessä drooni kuluttaa enemmän virtaa, joten sen akunkesto on myös huomioitava lentoreittejä suunniteltaessa. Hyvät lento-olosuhteet edesauttavat laadukkaasti kuvamateriaalin saamisessa. Puolipilvinen, tyyni ja kohtalaisen lämmin sää on lennättämisen ja kuvaamisen kannalta paras. Tuulenopeuden kasvaessa droonin ohjattavuus vaikeutuu ja virrankulutus kasvaa. Myös ilman viileneminen lisää virran kulutusta. Erittäin aurinkoisilla päivillä on myös negatiivinen vaikutus kuvanlaatuun, jolloin suoran auringonvalon tuoma suuri kontrasti kirkkaiden kohtien ja varjojen välillä aiheuttaa kuvan yli- tai alivalottumista. Liian pimeinä päivinä taas kameran suljinnopeus menee liian matalaksi, jolloin kuvista saattaa tulla rakeisia sekä tähtäneitä. Valoisuudella ja hyvillä sääolosuhteilla on siis erittäin suuri merkitys siihen, että droonikuvista tulee onnistuneita.

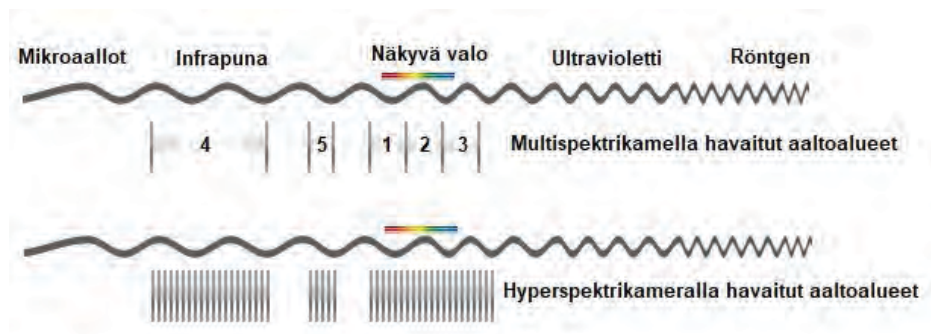
KAUKOKARTOITUS UUMO-HANKKEESSA

Uumo-hankkeen käytössä on DJI-Phantom 4 -drooni sekä kaksi Mapir-multispektrikameraa (kuva 1). Kameroiksi valittiin NGB (Near Infrared + Green + Blue) ja OCN (Orange + Cyan + Near Infrared). Näillä molemmilla saadaan näkyvän valon lisäksi kuvattua lähi-infrapuna eli ihmisen silmälle näkymätöntä valon aallonpituutta. Kameran soveltuvat esimerkiksi viljelykäytössä kasvillisuuden terveyden kuvaamiseen, jota tehdään laskemalla saaduista kuvista kasvillisuusindeksi. OCN-suodatin lisää kasvillisuuden kontrastia ja vähentää maaperän häiritsevyyttä kuvauksessa. NGB-kamera taas on erityisen hyvä kasvillisuusindeksiä tarkasteltaessa, ja se ns. täydentää OCN-kuvausta. Vaikka kuvaukset ovat melko lähellä toisiaan, NGB:llä voidaan saada esiin myös sellaista, mitä OCN:llä ei saada näkyviin. Tämän vuoksi se soveltuu hyvin myös vesiympäristön kuvauksiin. (Mapir s.a.)



KUVA 1. Uumo-hankkeessa käytetään DJI-Phantom 4 -droonia ja Mapir-multispektrikameroita (kuva Aki Mykkänen).

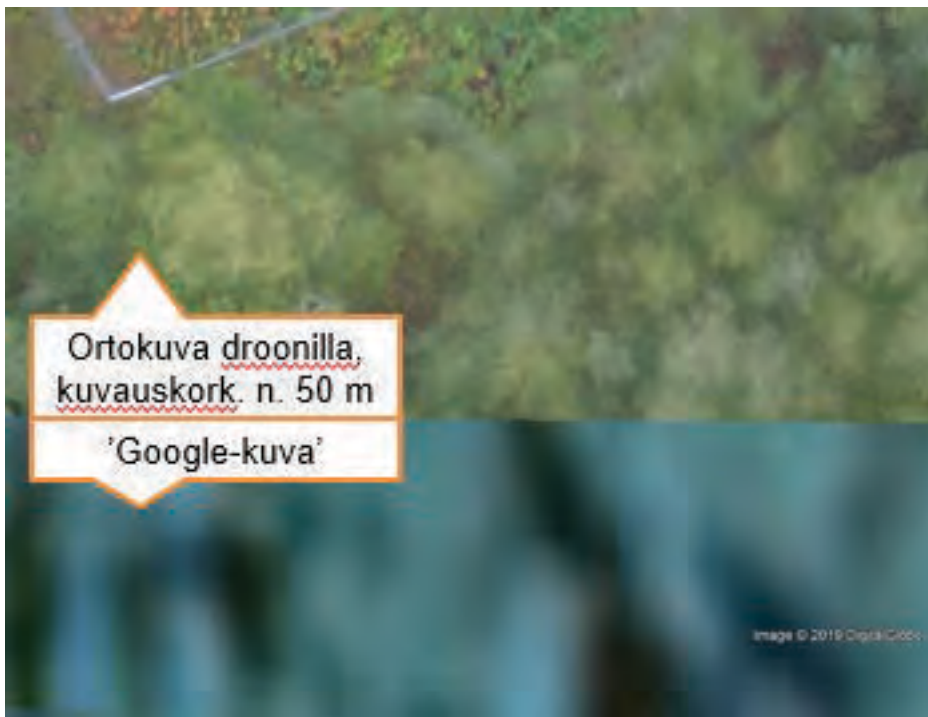
Multi- ja hyperspektrikuvauksissa käytetään erilaisia suodattimia datan keräämiseen. Spektrikuvauksessa kuvataan myös aallonpituusalueilla, joita ihmissilmä ei erota, kuten infrapuna. Multispektrikameroilla saadaan tallennettua muutamia suhteellisen leveitä aallonpituuskaistoja, kun taas hyperspektrikamerat sen sijaan mahdollistavat satojen tai jopa tuhansien kapean aallonpituuskaistan erottamisen sekä taltioinnin (Gisgeography 2019). Kuvassa 2 on havainnollistettu multi- ja hyperspektikameran tallentamia aaltoalueita.



KUVA 2. Esimerkki multi- ja hyperspektrikameroiden tallentamista aaltoalueista (mukailten Gisgeography 2019).

Hyperspektrikuvauksella löydetään multispektrikuvausta todennäköisemmin jokin tietty ominaispiirre, vaikka oikeaa aallonpituusalueita ei tiedettäisi varmasti. Hyperspektrikuvioiden käsittely on kuitenkin edelleen erittäin vaativaa, joten mikäli kuvaukselta haluttu parametrit ovat tiedossa, on multispektrikameran käyttäminen yksinkertaisempaa. Yhtenä toimenpiteenä Uumo-hankkeessa onkin selvittää, saadaanko edullisemmän ja suppeamman aaltoalueen sekä helpomman kuva-analysoinnin vaativalla multispektrikameralla tallennettua vesiympäristöstä riittävästi tietoa tuovaa kuvaa. Tutkimuskohteena ovat esimerkiksi pohjavesialueiden määrittäminen kasvillisuuden terveyden avulla.

Spektrikuvausten lisäksi DJI-Phantom 4 -droni kuvaa lentojen yhteydessä kohteen perinteisellä kameralla. Yhdistettynä GPS-tietoon näistä kuvista voidaan rakentaa ortokuvia sekä pistepilvimalleja. Jo pelkästään ortokuvista on suuri hyöty kohdedokumentoinnissa, koska sen avulla voidaan huomata asioita, jotka jäävät maan päältä huomaamatta. Erityisen hyödyllistä tämä on sijainneissa, joissa ei ole tarkkaa tai päivitettyä kaukokartoituskuvaa. Kuvassa 3 on esiteltyä hankkeessa kuvattu Rantasalmen Kupialan pohjavesialueen ortokuva verrattuna Google Earthin satelliittikuvaan. Suurena hyötynä on myös se, että saadut ortokuvat saadaan tehtyä pienillä kustannuksilla juuri siihen vuodenaikaan, miltä kuva tarvitaan.



KUVA 3. DJI-Phantom 4 -dronilla kuvattu ortokuva (ylhäällä) sekä Google Earthin satelliittikuva (kuva Esa Hannus).

Perinteisellä kameralla otetuista kuvista saadaan myös rakennettua X-, Y- ja Z- koordinaattitietojen avulla pistepilvimalleja, joihin tulee myös mukaan kohteessa olevat korkeustiedot. Tällöin kuvista rakentuu 3D-malli, jota voidaan jatkokäsitellä tarpeiden mukaan. Tästä on kohdedokumentoinnissa suuri hyöty, koska se mahdollistaa alueiden suunnittelua ja tarkkailua yksityiskohtaisemmalla ja monipuolisemmalla tavalla kuin ortokuva. Pistepilvien avulla saadaan myös tarvittaessa tehtyä kohdekohtaisia mallinnuksia vaikkapa veden virtaamisesta.

DROONIEN KÄYTTÖ KAUKOKARTOITUKSESSA

Droonien hyödyntäminen kaukokartoituksessa on kustannustehokasta ja toimivaa. Alueille, joille normaalisti ei pääse tai joille olisi muuten hankalaa saada ajantasainen kartoitus nopeasti, droonit soveltuvat erinomaisesti. Tekniikka on kehittynyt ajan myötä huomattavasti, jolloin myös ympäristöystävällisyys, nopea toimintavalmius, käytettävyys sekä monipuolinen hyödyntäminen ovat isoja etuja verrattuna perinteiseen kaukokartoitukseen.

Pelkästään kuluttajatasoisten droonien avulla tehtäviä kartoituksia ei vielä joka osa-alueella voida suorittaa. Esimerkiksi suuret alueet, kuten merellä olevat sinilevälautat, vaativat droonilta akkukestoa ja tarkoitukseen soveltuvan kuvauslaitteiston. Suuremmilla kuluttajatason laitteistoilla tämä on kuitenkin jo mahdollista.

Vesistöjen tarkkailussa droonit ovat erinomainen lisäys nykyisten perinteisten mittausmenetelmien rinnalle. Vaikka spektrikuvauksilla on saatu erinomaisia tuloksia, jotka korreloivat laboratorionäytteiden kanssa, analyysivirheiden ja mahdollisten vikaherkkyysien erottelemisessa on kuitenkin vielä kehitettävää. Esimerkiksi sääolosuhteiden muuttuminen yllättäen mittauspäivinä voi lisätä tulosten virheellisyyttä merkittävästi. Tähän ongelmaan on saatu ratkaisuja tekemällä mittauksia riittävän usein ja näin saatu ns. kalibrointidataa, jota voidaan hyödyntää tarkemmissa spektrianalyysimenetelmissä. Kehitystä on tapahtunut jo niin, että ainakin vesistöjen laadun tarkkailu, kuten yleinen korrelointi a-klorofyllin kanssa ja ympäristön yleinen monitorointi, onnistuu erinomaisesti.

Kaukokartoitusmenetelmät ovat yleistyneet viimeisimpien vuosien aikana varsinkin maa- ja metsätaloudessa. Uusia ja tarkempia menetelmiä ja työkaluja kehitetään myös ympäristön monitorointiin. Kaukokartoitus antaaakin toimivia ja kustannustehokkaita lisämenetelmiä ympäristön seurantaan.

LÄHTEET

Campbell, J. B., 2002. Introduction to Remote Sensing. Third edition. New York: The Guilford Press. 621 s. ISBN 1-57230-640-8.

Gisgeography. 2019. Multispectral vs Hyperspectral Imagery Explained. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://gisgeography.com/multispectral-vs-hyperspectral-imagery-explained/> [viitattu 17.10.2019].

Holopainen, M., Tokola, T., Vastaranta, M., Heikkilä, J., Huitu, H., Laamanen, R. & Alho, P. 2015. Geoinformatiikka luonnonvarojen hallinnassa. Helsingin yliopiston metsätieteiden laitoksen julkaisu 7: 1–152. ISBN: 978-952-10-4525-7.

Holopainen, M., Tuominen, S., Karjalainen, M., Hyyppä, J., Hyyppä, H., Vastaranta, M., Hujala, T. & Tokola, T. 2009. Korkearesoluutioisten E-SAR-tutkakuvien tarkkuus puustotunnusten koelatasen estimoinnissa. Metsätieteen aikakauskirja 4/2009: 309–323.

Mapir s.a. How to Choose a Survey3 Camera Filter Model. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.mapir.camera/blogs/guide/how-to-choose-a-survey3-camera-filter> [viitattu 17.10.2019].

Tietopaketti kaukokartoituksesta. 2004. PDF-dokumentti. Saatavissa: [http://www.i4.ymparisto.fi/i4/fin/tuotteet/Kaukokartoituksen_tietopaketti_\(2004\).pdf](http://www.i4.ymparisto.fi/i4/fin/tuotteet/Kaukokartoituksen_tietopaketti_(2004).pdf) [viitattu 16.10.2019].

Trafi. 2018. OPS M1-32, Kauko-ohjatun ilma-aluksen ja lennokin käyttäminen ilmailuun. PDF-dokumentti. Saatavissa: http://www.finlex.fi/data/normit/44667/TRAFI_334638_03_04_00_00_2017_Kauko-ohjatun_ilma-aluksen_ja_lennokin_kayttaminen_ilmailuun_FI.pdf [viitattu 17.10.2019].

Xie, Y., Sha, Z. & Yu, M., 2008. Remote sensing imagery in vegetation mapping: a review. Journal of Plant Ecology, 1(1), s. 9–23.

PASSIIVINEN NÄYTTEENOTTO POHJAVEDEN TUTKIMUKSESSA

Marina Markova & Aki Mykkänen & Marjatta Lehesvaara &
Riina Tuominen

Passiivisen näytteenoton avulla saadaan tietoa pohjaveden laadusta sekä esimerkiksi pohjaveden kerrosten välisistä laatueroista. Passiivisesta näytteenotosta tehdyissä tutkimuksissa on havaittu, että passiivisen näytteenoton avulla voidaan havaita yhdisteitä, jotka perinteisessä näytteenotossa ja laboratoriomäärityksissä jäävät piiloon. Passiivinen näytteenotto mahdollistaa pohjaveden kustannustehokkaan monitoroinnin ja riskinarvioinnin.

Uudet innovatiiviset menetelmät pohjavesien laadun monitorointiin – Uumo-hankkeessa tarkastellaan erilaisten mittaus- ja monitorointimenetelmien soveltumista pohjaveden laadun seurantaan ja etsitään vaihtoehtoja perinteiselle näytteenotolle. Hankkeessa selvitetään myös passiivisten näytteenottimien käytettävyyttä pohjavesien haitallisten yhdisteiden määrittämisessä. Selvityksessä tarkastellaan ja testataan olemassa olevia näytteenottimia sekä kehitetään pohjavesitutkimuksiin soveltuva näytteenotin. Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulun hanketta rahoittaa Etelä-Savon ELY-keskus Euroopan aluekehitysrahastosta (EAKR 2014–2020) sekä Mikkelin Vesilaitos ja Rantasalmen kunta.

PASSIIVINEN NÄYTTEENOTTO

Näytteen perinteisellä laboratorioanalyysillä saadaan määritettyä tutkittavien aineiden pitoisuudet näytteenottohetkenä. Pitoisuudet voivat kuitenkin vaihdella tutkittavassa kohteessa nopeallakin aikavälillä tai olla niin pieniä, ettei niitä saada selville määrityksessä. Viimeisimmän 20 vuoden aikana on pyritty ratkaisemaan vesien näytteenoton problematiikkaa passiivisen näytteenoton avulla. Passiiviset näytteenottomenetelmät ovat osoittautuneet lupaaviksi useiden erilaisten epäpuhtauksien havaitsemiseen. Passiivisten näytteenottimien avulla tutkimuskohteessa voidaan havaita erilaisia haitta-aineita. (CityChlor 2013)

Pohjavettä tutkitaan perinteisesti ottamalla vesinäyte pumpulla pohjaveden havaintoputkesta. Pumppaus kuitenkin aiheuttaa havaintoputkessa veden sekoittumista, jolloin on vaikea saada tietoa pohjaveden kerrostuneisuudesta. Lisäksi pohjavedessä voi esiintyä eräitä orgaanisia yhdisteitä niin pieninä pitoisuuksina, ettei niiden havaitseminen onnistu vesinäytteestä. Passiivisen näytteenoton avulla saadaan tietoa yksittäistä näytteenottoa kattavammin pohjaveden laadusta pidemmältä ajanjaksolta sekä esimerkiksi pohjaveden kerrosten välisistä laatueroista. (Huckins ym. 2006, CityChlor 2013)

Useimmat vesien monitoriohjelmot perustuvat näytteiden keräämiseen erillisistä pisteistä tietyinä ajankohtana. Jos tutkittavien aineiden pitoisuudet ovat vähäisiä, voi aine jäädä havaitsematta. Passiivisia näytteenottimia voidaan käyttää tutkimuskohteessa viikkojen tai kuukausien ajan, jolloin tutkimukseen tavoitetaan huomattavasti suurempi vesimäärä kuin mitä yksittäisellä vesinäytteellä saavutetaan.

Tutkimuksissa on havaittu, että pohjavesien kerrostuneisuuden myötä putken esipumpusta ei välttämättä tarvitse tehdä edustavan näytteen saamiseksi. Yleisesti pohjavesi liikkuu horisontaalisesti ja laminaarisesti ja voi siirtyä näytteenottoputken siivilöiden läpi sekoittumatta putken yläosassa olevaan seisovaan veteen. Tämän myötä putkessa liikkeessä olevasta vedestä saadaan edustavia näytteitä itse pohjavesialueen tilasta. Passiivisessa näytteenotossa on suurena etuna pumppauksen tarpeettomuus, eli putkessa oleva pohjavesi ei sekoitu. Tällöin saadaan tietoa siitä, kuinka esimerkiksi haitta-aineet käyttäytyvät veden eri kerrostumissa. (Tarvainen ym. 2015)

Perinteisen ja passiivisen näytteenoton eroavaisuuksia on esitelty taulukossa 1. Passiivinen näytteenotto ei syrjäytä perinteistä pohjavesinäytteenottoa, mutta sen avulla voidaan saada esille parametreja, jotka muuten jäisivät havainnoimatta (CityChlor 2013).

TAULUKKO 1. Eroavaisuuksia perinteisen ja passiivisen näytteenoton välillä (mukaiillen CityChlor 2013).

Perinteinen näytteenotto	Passiivinen näytteenotto
<ul style="list-style-type: none"> • Vesi sekoittuu esipumppauksen myötä • Näytevesi tulee näytealueen ylä- ja alapuolelta • Näytteestä saadaan virtaaman mukainen keskiarvopitoisuus • Perustuu esipumppauksessa vaihtuneeseen vesimäärään tai tutkittavan parametrin stabiloitumiseen • Vedessä olevat kaasut sekoittuvat ja vaihtuvat esimerkiksi ilmakosketuksen myötä • Voi aiheuttaa sameutta vedessä • Veteen liukenemattomat ja sekoittumattomat aineet ja kolloidit lähtevät liikkeelle 	<ul style="list-style-type: none"> • Ei pakotettua veden sekoittumista esipumppauksessa • Näyte saadaan halutulta syvyydeltä (kerrostuneisuus) • Kaivossa tapahtuva häiriö ja sekoittuminen pientä näytteenoton yhteydessä • Näyte edustaa pohjaveden luonnollista tilaa • Keskiarvopitoisuuksien määrittäminen on mahdollista altistusajasta riippuen

Vaikka passiivisella näytteenotolla ei välttämättä päästä määrällisesti tarkkoihin tuloksiin aineiden pitoisuusmäärittelyissä, voidaan menetelmää käyttää trendien ja vaatimustenmuutoksen seurantaan. Passiivisen näytteenoton avulla voidaan myös selvittää haitta-aineiden altistusarvoja, sillä näytteenottimia pidetään pitkään altistuneena kontaminanteille. (Miège 2015)

Passiivinen näytteenotin kerryttää tutkittavia yhdisteitä itseensä ilman ulkoista energianlähdettä. Yhdisteet kertyvät näytteenottimeen uittaessa niitä tutkimuskohteessa viikkoja tai jopa kuukausia. Tällaisia näytteenottimia on kehitelty 1980-luvulta lähtien useita erilaisia. (Huckins ym. 2006)

PASSIIVISET NÄYTTEENOTTIMET

Passiiviset näytteenottimet ovat passiivikeräämiä, joilla voidaan pidemmän näytteenotajakson ansiosta tutkia ja mitata haitta-aineiden keskimääräisiä pitoisuuksia sekä arvioida massavirtaa (Ahkola 2018). Näytteenoton periaatteen mukaan vesinäytteenoton tulisi kuvata joko haitta-aineen konsentraatiota, jolloin laite on tasapainossa, tai aikakeskiarvoista pitoisuutta, jolle näytteenotin oli altistunut. (CityChlor 2013)

Passiivinen näytteenotto voidaan määritellä näytteenottomenetelmäksi, joka perustuu molekyylien vapaaseen virtaukseen näyteaineesta näytteenottimeen vastaanottavaan vaiheeseen kahden kemiallisten potentiaalien välisen eron seurauksena. Molekyylien virtaus yhdestä väliaineesta jatkuu, kunnes tasapaino on muodostunut järjestelmään tai kunnes näytteenottojakso on lopetettu. Passiivinen näytteenotto ei tarvitse ulkoisia energialähteitä, vaan aineiden keräys näytteenottimeen tapahtuu kemiallisten ja fysikaalisten reaktioiden kautta. (CityChlor 2013)

Passiivinäytteenottimien kalibrointi tehdään yleensä laboratoriossa tunnetuilla altistuspitoisuuksilla. Näytteenottimelle tehdään yleensä myös laajamittaisia kalibrointitutkimuksia kemikaalien altistumisajan selvittämiseksi eri olosuhteissa. Vesinäytteenottokinetiikka riippuu muun muassa diffuusion fysikaaliskemiallisista ominaisuuksista, ympäristön lämpötilasta, veden turbulenssista sekä näytteenottimen ominaisuuksista. (Vrana ym. 2005)

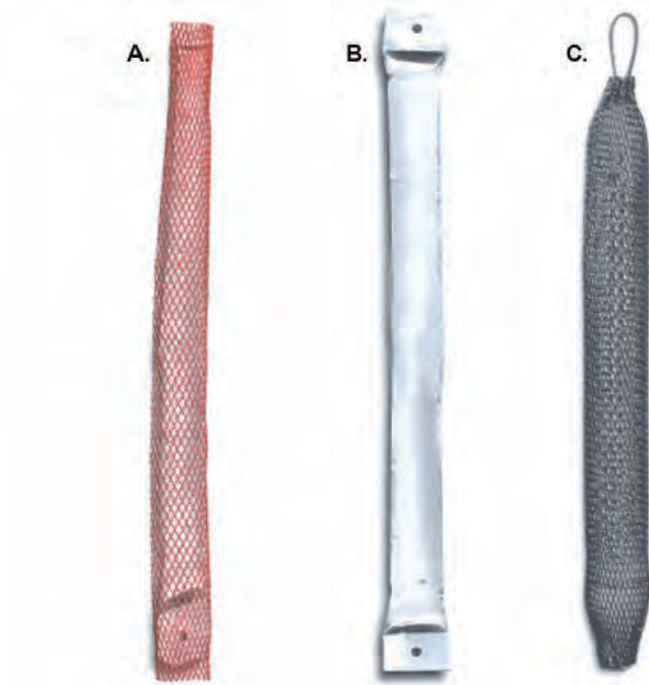
Näytteenottimen materiaalivalinta riippuu siitä, mitä yhdisteitä halutaan tutkia. Passiivisella näytteenotolla voidaan selvittää orgaanisten yhdisteiden veteen liennut osuus, joka on riskinhallinnan kannalta oleellisempaa kuin yksittäisen vesinäytteen tarkastelu. Veteen liennut osuus tuottaa myös yhdisteille altistumisesta kokonaisvaltaisempaa kuvaa.

Erilaisia passiivisia näytteenottomenetelmiä on kehitetty mittaamaan vedessä olevia orgaanisia ja epäorgaanisia epäpuhtauksia. Tällä hetkellä passiivisia näytteenottimia on markkinoilla useita malleja.

Toimintaperiaatteensa mukaan passiiviset näytteenottimet voidaan luokitella kolmeen kategoriaan. Diffuusioon perustuvat keräimet muodostavat tasapainotilan pohjaveden kanssa, integroivat näytteenottimet absorboivat tutkittavaa ainetta pohjavedestä itseensä ja noutimilla saadaan kerättyä vesinäyte tietyistä syvyydestä tiettyyn aikaan. (Stroo ym. 2014, CityChlor 2013)

TASAPAINONÄYTTEENOTTIMET

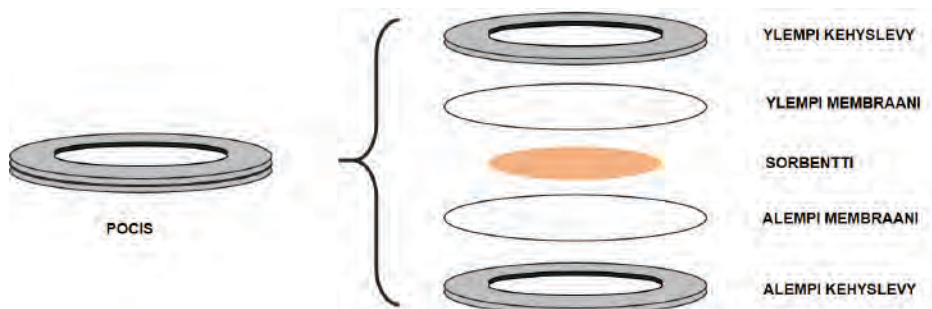
Tasapainonäytteenottimet perustuvat diffuusioon. Diffuusiossa aineen pitoisuuksien erosta syntyy molekyylien satunnainen liikkuminen, ja pitoisuusero pyrkii tasoittumaan molekyylien liikkumisella. Diffuusioon perustuvissa passiivisissa näytteenottimissa vedellä täytetty näytteenotin (kuva 1) lasketaan halutulle syvyydelle pohjavesiputkessa. Tutkittavat aineet siirtyvät väkevämmästä pitoisuudesta (pohjavesi) kalvon läpi laimeampaan (näytteenotin) niin kauan, kunnes pitoisuustasot näiden välillä tasoittuvat eli saavutetaan tasapainotila. Aineiden rajapinnoilla on laminaarikerros, jonka läpi aineen siirtyminen on mahdollista diffuusioprosessin avulla. Aika, joka kuluu tasapainotilan saavuttamiseen, riippuu kohteen olosuhteista. Tavallisesti näytteenotin voidaan poistaa putkesta noin parin viikon kuluttua. Näytteenottimen vesi analysoidaan laboratoriossa haitta-aineiden toteamiseksi. (Kinnunen 2005, Hautala & Peltonen 2009, Sippola 2015)



KUVA 1. Diffuusioon perustuvia näytteenottimia. Kuvassa A) diffuusiopussi, jossa on polyeteeni-verkko, B) diffuusiopussi ilman verkkoa, C) diffuusiopussi ja verkko yhdistettynä baileriin (mukailen Vroblesky 2001).

INTEGROIVAT NÄYTTEENOTTIMET

Adsorptioon perustuvat integroivat näytteenottimet perustuvat kalvon tai huokoisen pinnan läpi tapahtuvaan aineiden diffuusioon ja niiden adsorptioon vastaanottavaan faasiin (kuva 2). Membraani voi olla läpäisevä tai puoliläpäisevä kalvo, jonka materiaali ja paksuus valitaan tutkittavan aineen ominaisuuksien mukaisesti. Vastaanottavan faasin materiaali ja muoto valitaan myös sen mukaisesti, mitä ainetta halutaan tutkia. Se voi olla esimerkiksi liuotin, kemiallinen reagenssi tai huokoinen absorbenttimateriaali. Keräävän faasin tarkoituksena on siis olla se osa, josta tutkittavat aineet voidaan analysoida tulosten saamiseksi. Keräävät faasit voidaan jakaa kahteen alueeseen eli kineettisiin ja tasapaino-alueella toimiviin. (CityChlor 2013)

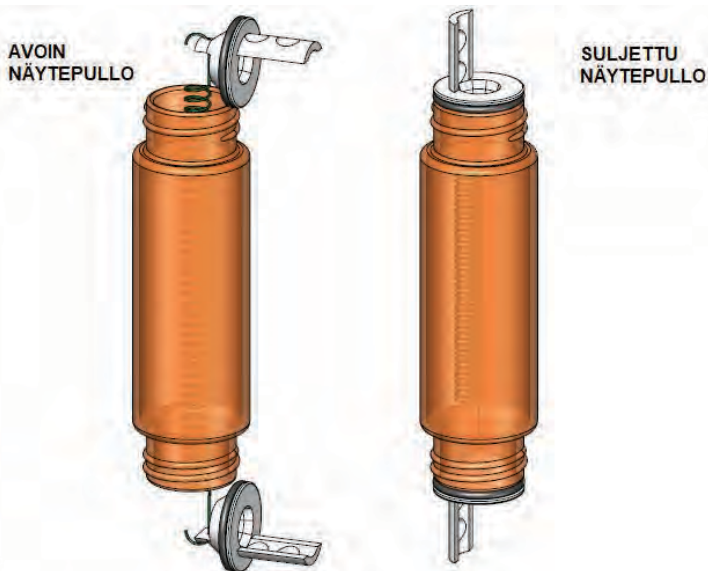


KUVA 2. POCIS-näytteenotin (Polar Organic Chemical Integrative Sampler) koostuu sorbentista, membraanikiekoista ja kehyslevyistä (mukaillen Affinisep s.a.).

NOUTIMET

Pohjavesien passiivisista näytteenottimista puhuttaessa noutimilla tarkoitetaan laitetta, joka mahdollistaa näytteenoton halutulta syvyydeltä ilman putken tai kaivon esipumppausta. Tämän myötä saadaan kuvaa esimerkiksi siitä, miten aineet käyttäytyvät pohjaveden eri kerroksissa. Noudin jätetään näytteenottokohteeseen siksi aikaa, että näytteenottokohdan hydrodynaamiset olosuhteet tasapainottuvat. Noudin ei kerrytä itseensä tutkittavia aineita, vaan sen avulla saadaan vesinäyte halutulta syvyydeltä niin, että vesi häiriintyy mahdollisimman vähän. Vedestä analysoidaan halutut haitta-ainepitoisuudet. (CityChlor 2013, Stroo 2014)

Kuvassa 3 on esitetty Snap Sampler -näytteenottimen näytepullo. Pullo laitetaan sitä varten suunniteltuun kehikkoon ja lasketaan avoimena esimerkiksi pohjavesiputkeen. Halutun tasapainottumisajan, esimerkiksi viikon, kuluttua pullo voidaan sulkea maanpinnalta laukaisimen avulla. (QED Environmental Systems s.a.)



KUVA 3. Snap Sampler -näytepullo, jota voidaan käyttää noutimena passiivisessa näytteenotossa (mukaillen QED Environmental Systems 2014).

YHTENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET

Passiivisen näytteenoton avulla saadaan pohjaveden laadusta kerättyä kustannustehokkaasti tietoa pitkältä ajalta. Näytteenottimen annetaan olla tutkittavan aineen ominaisuuksien mukaan vedessä useamman päivän tai jopa kuukausien ajan, jolloin se kerryttää tutkittavia yhdisteitä itseensä ilman ulkoista energialähdettä. Passiivisessa näytteenotossa vettä ei pumpata ja siten putkessa oleva pohjavesi ei sekoitu. Näin saadaan tietoa myös haitta-aineiden esiintymisestä veden eri kerroksissa.

Pohjaveden laadun tarkkailuun ja saastuneisuuden seurantaan voidaan käyttää tavanomais- ta tai passiivista näytteenottoa. Jotta tuloksista saadaan suurin hyöty, on ymmärrettävä näytteenottotekniikoiden edut ja rajoitukset. Jos kohdetutkimuksissa selvitetään kohteen haitta-aineita ennakkotiedoita, tarvitaan tutkimuskohteeseen mahdollisesti useita eri haitta-aineita kerääviä näytteenottimia. Tällöin perinteinen näytteenotto voi olla kustan- nustehokkaampi menetelmä. Passiivisen näytteenoton menetelmistä varsinkin noutimilla otetuilla kaappausnäytteillä voidaan kuitenkin saada kokonaiskuva kohteen haitta-aineista.

Passiivisen näytteenoton avulla voidaan seurata pohjaveden laatua pidemmällä ajanjaksolla kustannustehokkaasti. Uumo-hankkeessa kehitetään pohjavesien monitorointiin menetel- miä, joilla saadaan kokonaisvaltainen kuva pohjaveden laadusta. Yksi menetelmistä on pas- siivinen näytteenotto, joka mahdollistaa myös pienten haitta-ainemäärien havainnoimisen ja vähentää näytteenottoajankohdan vaikutusta tuloksiin.

LÄHTEET

Affinisep s.a. Passive Sampling. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.affinisep.com/passive-sampling/> [viitattu 8.10.2019].

Ahkola, H. 2018. PASSIIVI-hankkeessa kehitetään passiivinäytteenottoa pilaantuneiden pohjavesialueiden tutkimisessa ja seurannassa. Suomen ympäristökeskus (SYKE). WWW-dokumentti. Uutinen 29.3.2018. Saatavissa: [https://www.maaperakuntoon.fi/fi-FI/Ajankohtaista/Uutiset/PASSIIVI_hankkeessa_kehitetaan_passiivin\(46430\)](https://www.maaperakuntoon.fi/fi-FI/Ajankohtaista/Uutiset/PASSIIVI_hankkeessa_kehitetaan_passiivin(46430)) [viitattu 2.10.2019].

CityChlor. 2013. Groundwater quality measurement with passive samplers – Code of best practices. PDF-dokumentti. Saatavissa: https://rwsenvironment.eu/publish/pages/126583/groundwater_quality_measurement_with_passive_samplers.pdf

Hautala, M. & Peltonen, H. 2009. Insinöörin (AMK) fysiikka. Osa I. Lahden Teho-Opetus Oy. 9. painos. Saarijärven OFFSET OY. ISBN 978-952-5191-20-2.

Huckins, J. N., Petty, J. D., Booij, K. 2006. Monitors of Organic Chemicals in the Environment: Semipermeable Membrane Devices.

Kinnunen, T. (toim.). 2005. Pohjavesitutkimusopas. Käytännön ohjeita. Suomen Vesiyhdistys ry. ISBN 952-9606-73-7. ISSN 0782-9612.

Miége, C., Mazzella, N., Allan, I., Dulio, V., Smedes, F., Tixie, C., Vermeirssen, E., Brant, J., O’Toole, S., Budzinski, H., Ghestem, J.-P., Staubm, P.-F., Lardy-Fontan, S., Gonzalez, J.-L., Coquery, M. & Vrana, B. 2015. Position paper on passive sampling techniques for the monitoring of contaminants in the aquatic environment – Achievements to date and perspectives. Trends in Environmental Analytical Chemistry 8 (2015) 20–26. Saatavissa: <http://dx.doi.org/10.1016/j.teac.2015.07.001>

QED Environmental Systems. 2014. Snap Sampler bottles. PDF-dokumentti. Saatavissa: [http://snapsampler.com/local/uploads/content/files/SAMPLER%20BOTTLE%20ASSEMBLY%20\(1-21-14\).PDF](http://snapsampler.com/local/uploads/content/files/SAMPLER%20BOTTLE%20ASSEMBLY%20(1-21-14).PDF).

QED Environmental Systems s.a. What is the Snap Sampler? WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.snapsampler.com/About-The-Snap-Sampler> [viitattu 8.10.2019].

Sippola, E. 2015. Adsorptiomoduulin kehitys ja valmistus energiatekniikan sovelluksia varten. Tampereen teknillinen yliopisto. Materiaalitekniikan koulutusohjelma. Diplomityö. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://dspace.cc.tut.fi/dpub/bitstream/handle/123456789/23647/Sippola.pdf?sequence=3&isAllowed=y,3-13>.

Stroo, H.F., Anderson, R.H. & Leeson, A. 2014. Passive sampling for groundwater monitoring: Technology status. Guidance. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://www.serdp-estcp.org/content/download/34174/330865/file/Passive%20%20Sampling%20for%20Ground-water%20Monitoring.pdf>

Tarvainen, M., Kotilainen, H. & Suomela, J. 2015. Uudet menetelmät vesistöjen seurannassa – mahdollisuudet ja haasteet. ELY-keskuksen raportteja 86/2015. PDF-dokumentti. Saatavissa: http://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/120174/RA%2086_2015_Uudet%20menetelm%20vesist%20seurannassa.pdf?sequence=2.

Vrana, B., Mills, G.A., Allan, I.J., Dominiak, E., Svensson, K., Knutsson, J., Morrison, G. & Greenwood, R. 2005. Passive sampling techniques for monitoring pollutants in water. Trends in Analytical Chemistry, Vol. 24, No. 10, 2005.

Vroblesky, D.A (toim.). 2001. User's Guide for Polyethylene-Based Passive Diffusion Bag Samplers to Obtain Volatile Organic Compound Concentrations in Wells. 2001. Part 1: Deployment, Recovery, Data Interpretation, and Quality Control and Assurance. U.S. Geological Survey. Water-Resources Investigations Report 01–4060 & Part 2: Field Tests. Water-Resources Investigations Report 01–4061.

KLOORIFENOLIEN ANALYSOINTI PASSIIVISEN NÄYTTEENOTON JÄLKEEN

Marjatta Lehesvaara & Aki Mykkänen & Riina Tuominen

Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulun Uumo-hankkeessa (Uudet innovatiiviset menetelmät pohjavesien laadun monitorointiin) selvitetään passiivisten näytteenottimien soveltuvuutta muun muassa kloorifenolien näytteenottoon pohjavesistä. Erilaisten näytteenotinmateriaalien testaamiseksi ammattikorkeakoulun laboratorioon luotiin analyysimenetelmä, jolla pystyttiin osoittamaan kloorifenolien pidättyminen näytteenottimen materiaalin pintaan. Uumo-hanketta rahoittaa Etelä-Savon ELY-keskus Euroopan aluekehitysrahastosta (EAKR 2014–2020) sekä Mikkelin Vesilaitos ja Rantasalmen kunta.

PASSIIVINEN NÄYTTEENOTTO

Passiivisessa näytteenotossa tutkittavat yhdisteet kerätään näytteenotinmateriaalin pintaan, josta ne irrotetaan analysointia varten. Monet eri tekijät vaikuttavat aineiden tarttumiseen näytemateriaaliin. Pidättyminen riippuu muun muassa näytteenottimen materiaalista, sen koosta ja muodosta, tutkittavien aineiden fysikaalis-kemiallisista ominaisuuksista ja ympäristön tilasta (veden liikkeestä, lämpötilasta, pH:sta, kemiallisten aineiden konsentraatiosta ja muun muassa biofilmin kertymisestä näytteenottimen pinnalle). (Kot ym. 2000)

Biofilmin muodostuminen tai esimerkiksi metallien kerääntyminen näytteenotinmateriaalin pinnalle voi hidastuttaa tai estää aineiden kulkeutumista näytteenottimelle. Nolla- ja kontrollinäytteillä voidaan pyrkiä analysoimaan näytteenoton laatua ja mahdollisia häiritseviä tekijöitä ja kontaminaatiota.

Näytteenotinmateriaalin valinnassa tulee ensisijaisesti huomioida sen soveltuvuus tutkitaville yhdisteille. Näytteenottimen poolisuudella/poolittomuudella voidaan vaikuttaa pidättyvien yhdisteiden laatuun. Poolittomat orgaaniset yhdisteet ovat hydrofobisia eli ei-vesiliukoisia. Ne kiinnittyvät helposti hydrofobisen näytteenottomateriaalin pintaan. Myös pH:n säädöllä voidaan parantaa näytteenottimen selektiivisyyttä. Jos näytteenottimen pH:ta pystytään säätämään, voidaan vaikuttaa ionisoituvien yhdisteiden pidättymiseen.

Näyttemateriaalin huokos- tai reikäkoolla voidaan vaikuttaa pidättyvien yhdisteiden molekyylikokoon. Näytteenottimena voi olla esimerkiksi käytetty polyetyleenipussi (LDPE), joka on täytetty synteettisellä lipidillä, trioleiinilla. LDPE-pussin reikäkoko on tyypillisesti 1 nm, ja sen selektiivisyys perustuu makromolekyylien tai ioniyhdisteiden sekä poolisten yhdisteiden kulun estämiseen pussin sisälle. Yhdisteet, joiden $\log Pow > 3$, pidättyvät hyvin trioleiiniin. (Chimuka ym. 2008)

Log Pow on logaritmi aineen oktanoli/vesi-jakaantumiskertoimesta, ja se kuvaa aineen jakaantumista kahden toisiinsa kosketuksissa olevan mutta toisiinsa sekoittumattoman faasin välillä (taulukko 1). Yleisesti faasit ovat vesi ja veteen liukenematon orgaaninen liuotin, kuten kahdeksan hiiliatomia sisältävä alkoholi, n-oktanoli. (Laine 2013)

TAULUKKO 1. Aineiden jakaantuminen oktanoli-vesiseoksessa (Laine 2013).

Log Pow -arvo	Pitoisuus oktanolissa/vedessä
$\log Pow = -1$	aineen pitoisuus oktanolissa on kymmenesosa sen pitoisuudesta vedessä
$\log Pow = 0$	aineen pitoisuus oktanolissa on sama kuin vedessä
$\log Pow = 3$	aineen pitoisuus oktanolissa on 1 000 kertaa sen pitoisuus vedessä

Vesiliukoinen aine hakeutuu enemmän veteen ja rasvaliukoinen aine orgaaniseen liuottimeen. Ilmiö perustuu fysikaalisiin vuorovaikutuksiin, kuten vetysidoksiin ja dispersiovoimiin, joita molekyylit pystyvät muodostamaan erityyppisten liuottimien kanssa.

NÄYTTEENOTTO JA ESIKÄSITTELY ANALYSOINTIA VARTEN

Tässä hankkeessa on testattu ENVI C18 -membraanien (Sigma Aldrich) sopivuutta kloorifenolin näytteenottoon. Membraanit ovat halkaisijaltaan 47 mm, ja ne on valmistettu huokoisesta lasikuidusta, joka on päällystetty oktadekyyli- eli C18-modifoiduilla SiO₂-partikkeleilla (kuva 1).



KUVA 1. ENVI-Disk C-18 -näytteenottimia (kuva Marjatta Lehesvaara).

Kokeessa haluttiin selvittää, pidäytyvätkö kloorifenolit kyseisen membraanin pinnalle. Membraanit upotettiin litraan kloorifenolipitoista vettä (vesinäyte, standardinäyte) siten, että membraani oli vaakatasossa noin keskivaiheilla vesipatsasta. Membraanin annettiin olla vedessä noin kaksi viikkoa, jonka jälkeen se siirrettiin dekantterilasiin ja kuivattiin typpivirralla.

Kaasukromatografi-massaspektrometriaajoa (GC/MS) varten membraaniin lisättiin sisäiseksi standardiksi 20 µg 2,4,6-tribromifenolia (Sigma Aldrich). Kloorifenolien uuttamiseksi membraanin päälle dekantterilasiin lisättiin 5 ml etyyliasetaattia ja liuosta pidettiin ultraäänihautteessa huoneenlämpötilassa 10 minuuttia. Etyyliasetattiliuos otettiin talteen ja uutto toistettiin vielä kahdella 3 ml:n erällä etyyliasetaattia. Etyyliasetattiliuokset yhdistettiin ja haihdutettiin kuiviin typpivirralla. (Ahrens ym. 2016)

GC/MS-ajoa varten kloorifenoleista valmistettiin asetaattijohdannaiset. Tätä varten uuttojäännös liuotettiin koeputkessa 1 ml:aan metanolia ja liuokseen lisättiin 2 ml 5 % K_2CO_3 -liuosta sekä 200 µl vasta tislattua asetanhydriidiä. 1 minuutin ravistelun jälkeen koeputken lisättiin 1 ml heksaania ja ravistelu toistettiin. Koeputki jätettiin seisomaan ja liuoskerrosten annettiin erottua. Heksaanikerros otettiin erilleen ja jäännös uutettiin vielä 1 ml:lla heksaania. Yhdistetyt heksaaniliuokset kuivattiin Na_2SO_4 :lla ja konsentroitiin typpivirralla 1 ml:ksi. (SFS-EN 12673)

KLOORIFENOLIEN TUNNISTAMINEN

Kloorifenolien osoittamiseksi näytteistä hankittiin puhtaat kloorifenolistandardit (pentakloorifenoli, 3,4,5-trikloorifenoli ja 2,4,6-trikloorifenoli) sekä sisäiseksi standardiksi 2,4,6-tribromifenolia (Sigma Aldrich). Kloorifenoleista valmistettiin standardinäytteet, jotka sisälsivät 10–20 µg kutakin yhdistettä. Standardinäytteitä käsiteltiin kuten varsinaista näytettä uuton jälkeen eli kloorifenoleista valmistettiin asetaattijohdannaiset (taulukko 2).

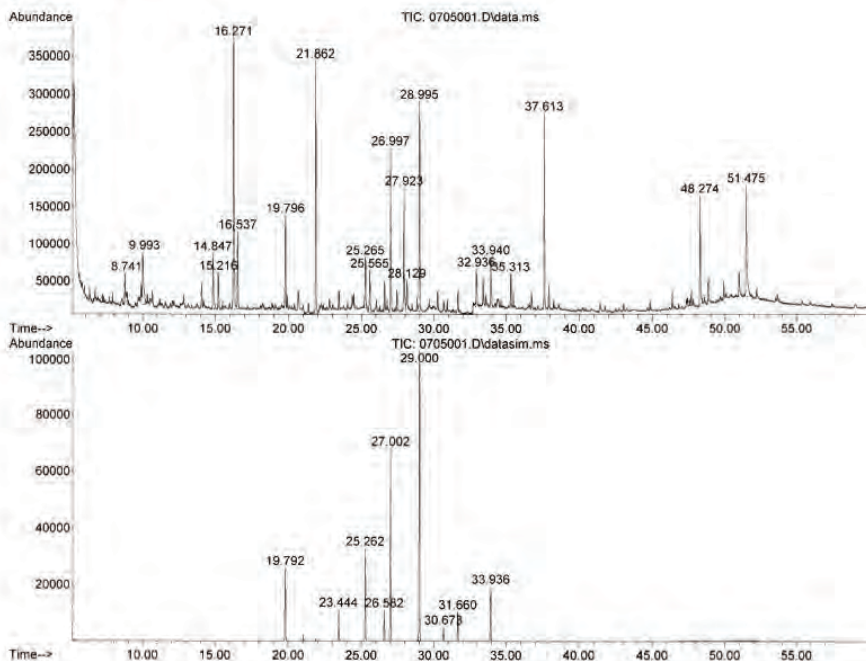
TAULUKKO 2. Kloorifenoliasetaatit.

Fenoli	MW (g/mol)	RT (min)	Ionit	CAS
2,4,6-trikloorifenoliasetaatti $C_8H_5O_2Cl_3$	239,48	23,5	196,198	23399-90-8
3,4,5-trikloorifenoliasetaatti $C_8H_5O_2Cl_3$	239,48	27,0	238,196	59190-61-3
2,4,6-tribromifenoliasetaatti $C_8H_5O_2Br_3$	372,84	31,7	330,332,328	607-95-4
pentakloorifenoliasetaatti $C_8H_3O_2Cl_5$	308,37	33,9	266; 268	1441-02-7

Näytteet ajettiin kaasukromatografi-massaspektrometriyhdistelmällä (Agilent Technologies 7890/ 5975 VL) kolonnina Zebron Z-5 (30 m; 0,25 mm (i.d.); 0,25 µm) (film thickness). Ajo suoritettiin sekä ns. SCAN- että SIM-ajona lämpötilaohjelmalla: aloituslämpötila 50 °C, lämpötilan nosto 4 °C/min, loppulämpötila 220 °C (0 min), lämpötilan nosto 8 °C/min, 280 °C (10 min). Scan-ajossa massaspektrometrillä skannataan haluttu massalukualue täydellisesti ja SIM-ajossa valitaan tietyt ionit, joita monitoroidaan (kuva 2).

Scan-ajosta saadaan massaspektrit, joita voidaan käyttää yhdisteiden tunnistamiseen. SIM-ajolla voidaan parantaa menetelmän herkkyyttä, kun vain tietyt massaspektrin perusteella valittuja ioneja monitoroidaan tietyllä aikavälillä. Yhdisteiden tunnistamiseen kuuluu myös retentioajan (RT) huomioiminen. Retentioaika tarkoittaa aikaa kromatografisen ajon aloituksesta, kun yhdiste saapuu detektorille. Retentioaika näkyy kromatogrammissa piikin yläpuolella olevana lukuna.

File : C:\msdchem\1\data\UUMO\07052019\0705001.D
 Operator :
 Acquired : 7 May 2019 9:12 using AcqMethod kloorife2.M
 Instrument : 5975C GCMSD
 Sample Name : SIM koe P18
 Misc Info :
 Vial Number : 2



KUVA 2. Kloorifenolinäytteen kromatogrammit SCAN- ja SIM-ajoista (kuva Marjatta Lehesvaara).

TULOKSET JA NIIDEN TULKINTA

Standardinäytteestä löydettiin kaikki näytteeseen valmistusvaiheessa pipetoidut yhdisteet (pentakloorifenoli, 3,4,5-trikloorifenoli ja 2,4,6-trikloorifenoli). Vesinäytteestä identifioitiin standardiajon perusteella varmasti pentakloorifenoli ja massaspektrien perusteella alustavasti 2,4,5-trikloorifenoli ja 2,3,4,6-tetrakloorifenoli. Kyseessä on kvalitatiivinen tulos, joka osoittaa kloorifenolien pidättymisen näytemembraanin pintaan. Kvantitatiivista eli määrällistä tulosta haluttaessa valmistetaan kloorifenoleista standardiliuosarja, jolla GC/MS-laite kalibroidaan.

JOHTOPÄÄTÖKSET

Testatun ENVI C18 -membraanin osoitettiin pystyvän pidättämään kloorifenoleita eli sen voidaan tältä osin ajatella soveltuvan näytteenotinmateriaaliksi kloorifenolinäytteenotossa. Kvantitatiivisen tuloksen tuottamiseksi tulee GC/MS-laite kalibroida tunnetuilla kloorifenolipitoisuuksilla. Tämän lisäksi myös käytettävä membraani tulee kalibroida eli muun

muassa määrittää se aika, jonka kuluessa näyte-membraanisysteemi saavuttaa tasapainotilan. Kloorifenolien kuten useiden muidenkin orgaanisten yhdisteryhmien osalta on huomioitava, että yhdisteryhmä sisältää hyvin monenlaisia yhdisteitä, jotka poikkeavat toisistaan muun muassa molekyyllipainonsa puolesta. Tämä puolestaan voi vaikuttaa muun muassa yhdisteiden kulkunopeuteen liuoksessa. Siten esimerkiksi dikloorifenolit ja pentakloorifenoli liikkuvat eri nopeuksilla ja myös mahdollisesti saavuttavat näytteenottimen eri nopeuksilla.

Passiivisesta näytteenotosta saatujen tulosten vertaaminen perinteisellä näytteenotolla saattuihin tuloksiin on tehtävä hyvin harkitusti, koska tulokset eivät ole menetelmien erilaisuudesta johtuen suoraan vertailukelpoisia. Passiivinen näytteenotto puolustaa kuitenkin paikkaansa monella tavoin. Näytteenottimen materiaalivalinnalla voidaan esimerkiksi saada näytteenottoon selektiivisyyttä, joka perinteisestä näytteenotosta puuttuu. Näytteen esikäsittelyssä käytetään myös varsin pieniä liuotinmääriä, mikä on suuri etu ainakin perinteiseen liuotinuuttoon nähden.

LÄHTEET

Ahrens L., Daneshvar A. & Kreuger J. 2016. Characterization and Application of Passive Samplers for Monitoring of Pesticides in Water. *J. Vis. Exp.* (114), e54053, doi:10.3791/54053 (2016).

Chimuka L., Cukrowska E. & Tutu H. 2008. Monitoring of Aquatic Environments Using Passive Samplers. *The Open Analytical Chemistry Journal*, 2008, 2, 1.

Kot A., Zabiegalla B. & Namiesènik J. 2000. Passive sampling for long-term monitoring of organic pollutants in water. *Trends in analytical chemistry*, 2000, 19, 446.

Laine K. 2013. Vesiliukoisuus ja jakautumiskerroin. Teoksessa *Farmaseuttisen kemian perusteet*. 2013, 65 Saatavissa: https://www.uef.fi/documents/415160/1873639/Kirjankappale_lupasivu.pdf/08c4b759-4d7d-4e4b-b444-5700f7390871

SFS-EN 12673. Veden laatu. Tiettyjen kloorifenolien kromatografinen määrittäminen vedestä. 1999, 5.

UUTTA TYÖTÄ JA OSAAMISTA KIERTOTALOUDESTA

Salla Pulliainen & Esa Kohvakka & Pauliina Kuukka & Hanne Soininen & Tiina Tervaniemi

Kiertotalous on uusi talousmalli, joka koskettaa koko yhteiskuntaa. Mallin eteenpäin viemiseksi tarvitaan monien alojen ammattilaisia ja yhteistyötä yhteiskunnan eri sektoreiden välillä, jolloin kiertotalousajattelu, sen luomat vaatimukset ja mahdollisuudet siirtyvät työelämään. Etelä-Savon ammattiopiston, Mikkelin toimintakeskuksen ja Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulun yhteishankkeessa ”Uutta työtä ja osaamista kiertotaloudesta” edistetään kiertotalousperiaatteiden jalkautumista Etelä-Savoon. Hankkeen tavoitteena on kiertotalousosaamisen lisääminen oppilaitoksissa ja yrityksissä sekä kiertotalousverkostojen ja toimintamallien luominen alueelle (kuva 1). Uudenlainen osaaminen luo edellytyksiä uusien yritysten toiminnalle ja uusille ammateille. Hanketta rahoittaa Etelä-Savon ELY-keskus Euroopan sosiaalirahastosta.



KUVA 1. Kiertotalouden ratkaisut edistävät luonnonvarojen kestäväää käyttöä (kuva Manu Eloaho).

TAUSTALLA LUONNONVAROJEN KESTÄVÄ KÄYTTÖ

Kiertotalous ei ole vain jätteiden kierrätystä ja uudelleenkäyttöä. Kiertotaloudessa tuotanto ja kulutus synnyttävät mahdollisimman vähän hukkaa ja jätettä, ja usein tuotteille luodaan lisäarvoa palveluilla sekä digitaalisiin ratkaisuihin perustuvalla älykkyydellä. Muun muassa tuote-elinkaaren pidentäminen, jakamislustat ja tuotteen myyminen palveluna ovat kiertotalouden mukaisia liiketoimintamalleja, jotka tukevat materiaalien tehokasta

kiertoa ja jätteen synnyn ehkäisyä. Resurssien elinkaaren pidentäminen kestävyuden, kiertettävyyden ja huollettavuuden avulla vastaa tarpeeseen vähentää kulutusta ja säilyttää resurssit ja niihin sitoutunut arvo kierrossa mahdollisimman pitkään. Kiertotaloudella on vahvat ympäristö- ja ilmastoperusteet, mutta se kytkeytyy myös työpaikkojen luomiseen ja digitalisaation hyödyntämiseen; kiertotalouden ymmärtämiseen ja toteuttamiseen tarvitaan ammattillista osaamista monilla osa-alueilla.

TARPEET KIERTOTALOUDEN KOULUTUKSEN JA TYÖ- VALTAISTEN OPPIMISYMPÄRISTÖJEN KEHITTÄMISEEN

Sitra on linjannut Suomen olevan kiertotalouden kärkimaa vuoteen 2025 mennessä. Tavoitetta tukemaan on julkaistu Kiertotalouden tiekartta, johon kuuluvat muun muassa kiertotalouden sisällyttäminen koulutukseen eri asteilla ja se, että kiertotalouden periaatteet tulee rakentaa ammattillisten aineiden läpileikkaavaksi teemaksi. Koulutusten järjestäjiä suositellaan varmistamaan, että kaikilla opiskelijoilla on yhdenvertaiset mahdollisuudet saada kestävä kehityksen opetusta. Lisäksi opiskelijoiden aiempi osaaminen tulisi tunnustaa ja tunnustaa sekä asettaa tavoitteita myös kestävä kehityksen osaamiselle.

Kiertotalouden mukaiset liiketalousmallit luovat uudenlaisia työtehtäviä. Työelämä tarvitsee osaajia, jotka ymmärtävät kiertotalouden vaatimukset ja sen tarjoamat mahdollisuudet. Oppimistuloksiin ja osaamisen kehittämiseen pystytään vaikuttamaan myönteisesti liittämällä kestävä kehitys teorian lisäksi myös käytännön opintoihin. Vaikka opettajat ja oppilaitokset suhtautuvat hyvin myönteisesti kestäväan kehitykseen, on koulutuksen järjestäjillä tältä osin vielä paljon parannettavaa. Opetushenkilöstön tulisikin saada täydennyskoulutusta aihepiiriin opetukseen. Työelämälähtöisyys tulisi sisällyttää kestävä kehityksen ja kiertotalouden opetukseen ja suunnitella opetusta yhteistyössä työpaikkojen kanssa uusia oppimisympäristöjä hyödyntäen. Jotta opetus voidaan yhdistää työelämään, on myös yritysten tunnustettava oman toimintansa mahdollisuudet kiertotaloudessa.

LISÄÄ KIERTOTALOUSOSAAMISTA ETELÄ-SAVOON

Uutta työtä ja osaamista kiertotaloudesta -hankkeessa organisaatioiden yhteisenä tavoitteena on alueen kiertotalousosaamisen kehittäminen. Organisaatioiden henkilöstön, opiskelijoiden, alueella toimivien yritysten sekä kansalaisten tietotaidon lisääntyminen koulutusten, työpajojen ja neuvontapalveluiden avulla vahvistaa kiertotalouteen liittyvää osaamista ja sen hyödyntämistä yhteiskunnan eri sektoreilla. Lähitulevaisuudessa tarvitsemme elinkaariajatteluun ja laaja-alaiseen yhteistyöhön koulutettuja ammattilaisia, jotka hallitsevat oman alansa kiertotalousnäkökohdat.

Hankkeeseen osallistuvissa oppilaitoksissa keskitytään etenkin opettajien kiertotalousosaamisen kehittämiseen kiertotalouden kannalta oleellisilla koulutusaloilla, jolloin tietotaito saadaan jalkautettua opiskelijoille. Tulevaisuuden ammattilaisten on osattava ottaa huomioon työssään kiertotalouden teemat, ja heillä on oltava valmiudet tunnustaa alallaan

kiertotalouden mallit ja niiden hyödyntäminen. Kiertotalousopetus liitetään opiskelijoilla lisäksi yrittäjäyyskasvatukseen ja yrittäjäakatemiaan. Tavoitteena on lisätä työelämälähtöistä opetusta myös tällä aihealueella, ja hankkeessa kehitetäänkin uusia työelämälähtöisiä oppimisympäristöjä. Kiertotaloutta ja vähähiilisyttä edistetään myös organisaatiokohtaisissa kehittämisprojekteissa, joissa kehitetään sekä organisaatioiden omaa toimintaa että hyödynnetään osaamista elinkaarilaskennan osalta.

Mikkelin Toimintakeskus on ollut kestävän kierrätystoiminnan edelläkävijä Mikkelin alueella, ja toiminnan kehittäminen edellyttää tason nostamista kierrätyksen osaamisesta kiertotalouden osaamiseen. Toimintakeskuksen henkilöstön kiertotalousosaamista kehitetään yksilöllisten tarpeiden mukaisesti. Kiertotalouden toimintaperiaatteiden toteuttaminen työpaikoilla ja työvaltaisissa oppimisympäristöissä tehostaa materiaalien hyödyntämistä ja kiertoa. Toimintakeskuksen tavoitteena on myös lisätä yleistä tietoa kiertotaloudesta ja kuluttajaneuvontaa sekä kehittää kiertotalouden mukaisia kuluttajapalveluita.

Hankkeen pilot-oppimisympäristönä toimii Metsä-Sairilan jätekeskukseen rakentuva tavaroitten ja materiaalien lajittelukeskus, jonka toiminnalla tehostetaan resurssien säilymistä kierrossa yhteistyössä Mikkelin Toimintakeskuksen ja Metsäsairila Oy:n kanssa. Lajittelukeskus toimii kiertotalouden palveluliiketoimintojen ympärille rakentuvana monialaisena, kiertotalouden periaatteita noudattavana oppimisympäristönä Toimintakeskuksen työntekijöille ja oppilaitosten opiskelijoille. Lisäksi pilot-ympäristö voi toimia alustana kehitysprojekteissa ja kuluttajalähtöisten kiertotalouspalveluiden tuottamisessa.

Hankkeen tavoitteena on lisäksi luoda Etelä-Savoon kiertotalouden verkostoja ja toimintamalleja, jotka turvaavat ja mahdollistavat innovaatioiden toteuttamisen ja eteenpäin viemisen. Yrityksille järjestettävät koulutukset ja kiertotalousideologian mukaisten verkostojen solmiminen alueelle edistävät alueen resurssien yhdistämistä suuremmaksi kokonaisuudeksi.

AMMATTITAITOA VAHVISTAMASSA

Uutta työtä ja osaamista kiertotaloudesta -hankkeen tuloksena kiertotalousosaaminen ja -ammattitaito lisääntyvät alueella ja hankkeeseen osallistuvissa organisaatioissa. Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulun, Mikkelin Toimintakeskuksen ja Etelä-Savon ammattiopiston työntekijät osaavat ottaa huomioon kansalliset kiertotalouden tavoitteet opetus-, ohjaus- ja TKI-työssään sekä toiminnassaan, ja opiskelijoiden valmiudet kiertotalouden periaatteiden soveltamiseen työelämässä lisääntyvät. Hankkeessa luodut uudet koulutusisällöt, työkäytännöt, työvaltaiset oppimisympäristöt ja koulutusmateriaalit jäävät käyttöön alueen oppilaitoksiin, organisaatioihin ja yrityksiin.

Pitkällä aikavälillä opiskelijoiden osaaminen saavuttaa myös eteläsavolaiset yritykset. Uusien toimintamallien käyttöönotto yhdessä kiertotalouden ammattilaisten kanssa luo alueelle uutta työtä ja yritystoimintaa. Kiertotalouden mallien ympärille luodut verkostot, toimintamallit ja palveluinnovaatiot edistävät vähähiilisten ratkaisujen toteutumista Etelä-Savossa.

KIERTOTALOUSTIETOUTTA KOKO YHTEISKUNTAAN

Salla Pulliainen & Pauliina Kuukka & Esa Kohvakka

Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulun, Esedun ja Mikkelin Toimintakeskuksen yhteishankkeessa ”Uutta työtä ja osaamista kiertotaloudesta (UTK)” kasvatetaan eri koulutusasteiden opiskelijoiden, organisaatioiden ja yritysten henkilöstön sekä alueen kuntalaisten kiertotaloustietoutta. Vuonna 2019 hankkeessa toteutettiin info- ja koulutustilaisuuksia, joissa kiertotalouden periaatteita jalkautettiin osallistujien pariin luennoin ja toiminnallisen oppimisen keinoin. Hanketta rahoittaa Etelä-Savon ELY-keskus Euroopan sosiaalirahastosta.

TALOUSMALLIN MURROKSEEN VAADITAAN KULUTUSKETJUN KAIKKI OSAT

Kiertotalouden toteuttamiseen tarvitaan yhteiskunnan kaikkia sektoreita. Siirtyminen lineaarisesta talousmallista kiertotalouteen vaatii ajatusmallin muutoksen kulutusketjun kaikissa vaiheissa; tunnistamalla raaka-aineisiin sitoutunut arvo voidaan kertakäyttökulttuurista siirtyä vastuulliseen resurssien käyttöön. Yhteiskunnan eri osapuolten tulee tunnistaa omat vaikuttamismahdollisuutensa luonnonvarojen kestävässä käytössä. Kiertotalouteen siirtyminen vaatiikin ymmärrystä taustalla vaikuttavista tekijöistä sekä siitä, miten suunnittelu, tuotanto ja kulutus vaikuttavat suljetun materiaalikierron toteutumiseen.

KÄYTÄNNÖN KIERTOTALOUSTA KUNTALAISILLE

Uutta työtä ja osaamista kiertotaloudesta -hanke on ollut jalkauttamassa kiertotaloustietoutta useissa kuntalaisille suunnatuissa tilaisuuksissa. Valtakunnallisella pyöräilyviikolla toukokuussa 2019 Mikkelin torilla pidetyssä tapahtumassa hanke järjesti kiertotalousteeman mukaisesti kuntalaisille polkupyörien kunnostus- ja keräyspisteen. Torille toteutettiin Mikkelin Toimintakeskuksen henkilökunnan osaamisen avulla polkupyörien huoltopiste, jonka avulla kaupunkilaisia kannustettiin sekä pyöräillen liikkumiseen että pyörän kunnossapitoon huollon avulla.

Päivän aikana otettiin vastaan kaiken kuntoisia polkupyöriä kunnostettaviksi tai varaosina hyödynnettäviksi. Lisäksi Mikkelin kaupungin alakouluille tiedotettiin etukäteen mahdollisuudesta tuoda ylimääräisiä polkupyöriä kouluille keräykseen haettaviksi. Tilaisuuden yhteydessä kuntalaisilta kerättiin lisäksi toiveita palveluista, jotka edesauttaisivat kuntalaisia toteuttamaan kiertotaloutta.

OPISKELIJAT TULEVAISUUDEN AMMATTILAISINA

Yhtenä UTK-hankkeen kohderyhmänä ovat eri asteiden opiskelijat. Hankkeessa kiertotalouden periaatteita ja yritystoiminnan perustamista opetetaan muun muassa pelillisin keinoin kiertotalous- ja yrittäjyyspeli Circulaa hyödyntämällä. Peli on kehitetty Sitran rahoittamassa kehittämishankkeessa Suomen ympäristöopisto Syklin, Nuori Yrittäjyys ry:n, Savon koulutuskuntayhtymä Sakkyn ja Espoon seudun koulutuskuntayhtymä Omnian yhteistyönä. Circula-pelin avulla tutustutaan vastuullisen liiketoiminnan malleihin ja ymmärretään kiertotalouden potentiaali uuden yritystoiminnan kehittämisessä. Peliä on hyödynnetty hankkeen toimesta jo useissa tilaisuuksissa, joissa kiertotalouden mukaiseen liiketoimintaan ovat päässeet tutustumaan ammattikoulun ja ammattikorkeakoulun opiskelijat sekä opetus- ja hankehenkilöstöä.

Lokakuussa 2019 hankkeessa kehitettiin Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulun ympäristötekniikan opiskelijoiden kiertotalousosaamista aiheesta kertovien videoiden sekä taustalla olevan EU:n jätehierarkian ja tulevan jätelain muutoksen johdattelemana. Kiertotalouden mukaisiin liiketoimintamalleihin perehdyttiin lisäksi esimerkeillä kiertotalouden periaatteita toteuttavista yrityksistä ja niiden toteuttaman liiketoiminnan ansaintamalleista. Kiertotalouden periaatteisiin tutustuttuaan opiskelijat pääsivät soveltamaan oppimaansa Circula-pelissä.

Ryhmittäin pelattavassa Circula-pelissä opiskelijat peilasivat omia vahvuuksiaan työelämässä tarvittaviin taitoihin ja rooleihin ja sovelsivat ryhmien osaamista liiketoiminnan kehittämisessä. Tehtävänä oli pelissä annettujen resurssien sekä käytöstä poistettujen tavaroiden, tilojen ja materiaalien avulla ideoida kiertotalouden mukaista yritystoimintaa (kuva 1). Pelin lopuksi ryhmät esittelivät yritysideoita ja sen taustalla olevan kiertotalouden mukaisen liiketoimintamallin.

Circula-pelin tavoitteena on rohkeidenkin ideoiden kautta auttaa ymmärtämään kiertotalouden luoma potentiaali uudelle liiketoiminnalle sekä kehittää valmiuksia yrittäjyyteen. Lisäksi omien ja ryhmän vahvuuksien tunnistaminen sekä ryhmätyöskentely kehittävät monipuolisesti työelämässä tarvittavia taitoja. (Sykli) Opiskelijoille pidetyt tilaisuudet ovat toiminnallisen oppimismallinsa vuoksi olleet pidettyjä oppimisen menetelmiä. Pelissä käytettyjen kuvitteellisten resurssien sijaan pelin runkoa voidaan käyttää myös todellisten yritysliiketoimintamallien kiertotaloushaasteiden ratkaisemiseen opiskelijoiden keskuudessa.



KUVA 1. Kiertotalous- ja yrittäjyyspeli Circulassa ideoidaan vastuullista yritystoimintaa (kuva Pauliina Kuukka).

KOHTI VASTUULLISTA LIIKETOIMINTAA

Organisaatioiden ja yritysten johdolle ja keskijohdolle suunnattu Kohti kiertotaloutta ja vastuullisuutta -koulutus järjestettiin marraskuussa 2019. Koulutuksessa kuulijoille muodostettiin kuva kiertotalouden ja kestävästä kehityksestä taustoista ja periaatteista sekä kiertotalouden soveltamisesta ja sen luomasta taloudellisesta potentiaalista yritystoiminnalle. Koulutus avasi keinoja kiertotalouden toteutukseen; kiertotalouden periaatteita pystytään soveltamaan yrityksissä ja organisaatioissa toiminnan luonteesta riippumatta. Energiatieteiden hokkuus, uusiutuvien materiaalien käyttö, kierrätys ja tuotteiden elinkaaren pidentäminen kestäviin materiaaleihin, huollon ja päivittämisen kautta ovat teemoja, joiden tulisi olla resurssien käytön lähtökohtana.

Koulutus käsitteli lisäksi ohjauskeinoja kiertotalouteen siirtymiseen. Markkinoita on perinteisesti ohjailtu lainsäädännöllä, mutta nykyään vaikuttavampia ja nopeampia tekijöitä markkinoiden ohjailussa ovat kuluttajien omat arvot ja valinnat. Kuluttajien tietoisuus ja tiedon leviäminen nopeasti pakottavat yritykset toimimaan vastuullisesti sekä yhteiskunnan että luonnonvarojen kannalta. Tästä syystä yritysten imagolla on entistä suurempi merkitys markkinoiden kehittämisessä, ja kuluttajat ovatkin valmiita maksamaan ympäristön kannalta paremmista vaihtoehdoista.

Koulutuksen tuloksena osallistujat saivat yleiskuvan kiertotalouden tuomista hyödyistä sekä ympäristölle että yrityksen taloudelle ja imagolle. Kiertotalous tulee luomaan uusia ammatteja ja työpaikkoja, kun liiketoiminnan ja tuotannon mallit muuttuvat. Muutoksiin sopeutuminen tulee ottaa huomioon sisällyttämällä kiertotalouden teemat osaksi eri alojen koulutusta jo nykyisin.

TULOKSENA KESTÄVÄMPI YHTEISKUNTA

Taloukskasvun irrottaminen luonnonvarojen ylikulutuksesta tulee olemaan haaste koko yhteiskunnalle. Kulutusmallien muutos resurssien hukkaamisesta suljettuihin materiaali-kiertoihin vaatii aikaa ja tiedon levittämistä sekä ymmärrystä oman toiminnan vaikuttavuudesta yhteiskunnan kaikilla sektoreilla. Kiertotalouteen siirtymisessä yhteistyöverkostot ovat ensiarvoisen tärkeitä, ja ne tuovat menestysmahdollisuuksia mukana oleville toimijoille. Uutta työtä ja osaamista kiertotaloudesta -hankkeessa tehtävä työ kiertotaloustietouden levittämiseksi ja eri asteiden koulutuksen kehittäminen kiertotalouden teemoja paremmin huomioivaksi luo entistä paremmat mahdollisuudet edistää ekologista, sosiaalista ja taloudellista kestävyyttä.

LÄHTEET

Sykli. Pelillistä oppimista kiertotaloudesta. Circula Kiertotalous- ja yrittäjyyspeli. Www-dokumentti. Saatavissa: <https://circula.fi/>. [viitattu 15.11.2019]

HIEKOITUSHIEKAN KORVAAMINEN SUOLALLA KYLLÄSTETYLLÄ JÄTEPUUMURSKALLA

Lasse Hämäläinen & Hannu Turunen

Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulun sekä Aalto-yliopiston yhteishankkeessa ”Kierto-puu – Puupakkausten ja puuteollisuuden sivuvirtojen kierrätysmahdollisuudet” tutkitaan A- ja B-luokan puujätteen uusiokäyttöä. Hankkeen taustalla ovat kiristyneet kierrätystavoitteet, joihin nykykäytännöllä ei yllä. Suurin osa Suomessa syntyvästä puujätteestä poltetaan suoraan energiaksi, jolloin materiaaliin sitoutunut hiili vapautuu takaisin ilmaan hiilidioksidina.

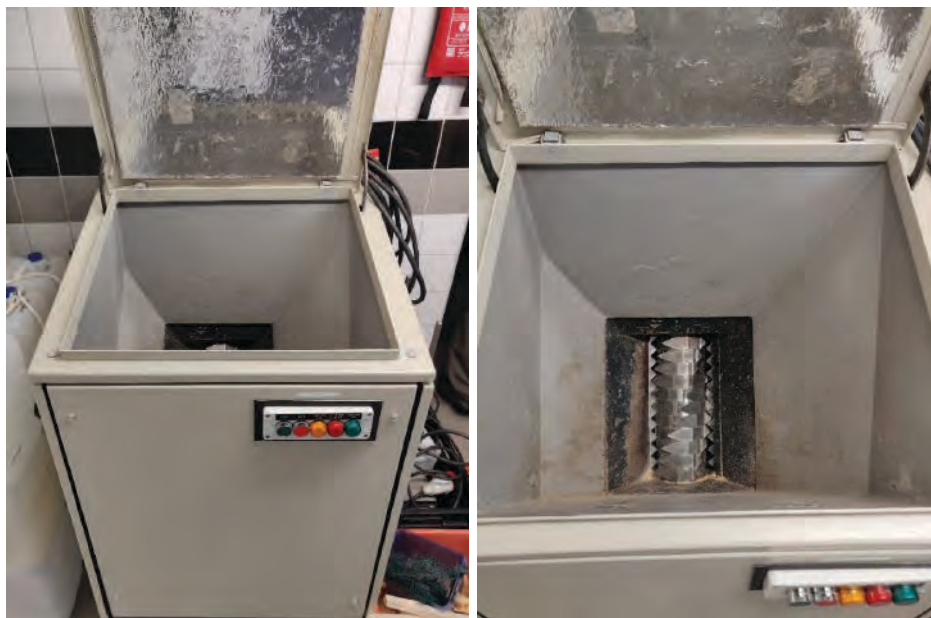
Kierto-puu-hankkeessa etsitään uusia taloudellisesti kannattavia sekä ympäristöystävällisiä keinoja kierrättää A- ja B-jakeiden puujätettä. Hankkeen aikana suoritetaan kokeita, joilla pyritään osoittamaan kierrätysmenetelmien käytännöllisyyttä. Ensimmäinen käytännön testi suoritettiin keväällä 2019, ja siinä tutkittiin puujätteen käyttöä hiekoitushiekan korvaajana. Hanketta rahoittaa Etelä-Savon maakuntaliitto Euroopan aluekehitysrahastosta, Puupakkausten kierrätys Oy, Isku Oy ja Metsäsairila Oy. Lisäksi hankkeen yhteistyökumppanina on Torrec Oy.

PUULASTUT HIEKKAA KORVAAMASSA

Puhtaasta puuhakkeesta tehtyä liukuestemursketta valmistaa sveitsiläinen Stop Gliss Bio -yritys. Puuhake kyllästetään magnesiumkloridiliuoksella, joka auttaa paloja pureutumaan jäiseen katuun. (Stop Gliss Bio 2018) Puisella korvikkeella pyritään pienentämään esimerkiksi hiekan lakaisemisesta syntyvää pölyhaittaa, joka aiheuttaa vuosittain hengitystieoireita varsinkin kaupungeissa asuvalle väestölle, sekä tiesuolan aiheuttamia ympäristövaikutuksia (Hengitysliitto 2019). Puulastut vastustavat keväisin jäiseen katuun uppoamista paremmin kuin tumma hiekoitushiekka, jolloin liukkaudentorjuntaa ei tarvitse suorittaa yhtä usein. Puulastut ovat myös biohajoavia, joten lakaisematta jääneet lastut häviävät tien varsilta omia aikojaan.

PUUJÄTTEEN KÄSITTELY LIUKKAUDEN TORJUNTAAN

Puujätteen koostumuksen vaihtelevuuden takia kokeet aloitettiin tutkimalla erilaisten puumateriaalien murskaamista. Kokeessa käytettiin Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulun tiloista löytynyttä puujätettä, jossa oli sekaisin käsittelemätöntä ja lämpökäsiteltyä havupuulautaa. Puujätettä pienennettiin käsin murskaimeen sopiviksi paloiksi, minkä jälkeen murskaaminen suoritettiin ympäristölaboratoriossa Esko Siirtola Oy:n jätemurskaimella (kuva 1).



KUVA 1. Puujätteen murskaukseen käytetty jätemurskain (kuvat Lasse Hämäläinen).

Murskaustestin jälkeen suolakyllästyskoe suoritettiin kahdella erilaisella A-luokan puujättejakeella: puhtaalla havupuumurskeella sekä lämpökäsitellyllä havupuumurskeella.

Puumurske seulottiin 8 mm:n seulan läpi massan homogoinemiseksi ja pienimpien tikkujen poistamiseksi. Kokeessa käytettiin kyllästysuolana magnesiumkloridia sekä kalsiumkloridia, joita on käytetty liukkaudentorjunnassa. Kyllästystä varten suoloista valmistettiin 10 %:n vesiliuokset ja kyllästys suoritettiin standardia SFS EN 113 mukaillen. Kyllästyspaine oli 70 ± 10 kPa 15 minuutin ajan, jonka jälkeen palat jätettiin liuokseen kahdeksi tunniksi. Kyllästyksen jälkeen palat laitettiin kuivumaan vuorokaudeksi uuniin, jonka lämpötila oli 105 °C.

KOEJÄRJESTELYT LIUKKAUDENTORJUNNAN TESTAAMISEEN

Jalkakäytävää kuvaamaan valmisteltiin muovinen astia, joka täytettiin vedellä ja jäädytettiin pakkahuoneessa. Testialustan jäädyttyä suolalla kyllästetyt murskeet levitettiin rajatuille alueille ja niiden toimintaa verrattiin kontrollina toimineisiin käsittelemättömiin murskeisiin (kuva 2).



KUVA 2. Koeasetelma liukkaudentorjunnan testaamiseen. Tummat lastut lämpökäsiteltyjä. Koesarjat 1-2: käsittelemättömät kontrollilastut, koesarjat 3-4: magnesiumkloridilla käsitellyt lastut, koesarjat 5-6: kalsiumkloridilla käsitellyt lastut (kuva Lasse Hämäläinen).

Murskeen levitysmäärä laskettiin normaalin linjahiekoituksen ohjeellisen levitysmäärän mukaan 150 g/m^2 (Liikennevirasto 2017). Murskeen luistoneston arvioimiseen käytettiin pelkästään aistinvaraisia havaintoja, koska liukkaudentorjunnan testaaminen tasapuolisesti on laboratorio-olosuhteissa vaikeaa (Aburaj ym. 2014).

Liukkaudentorjuntakokeen jälkeen suolan liukeneminen puupaloista testattiin standardin EN 84 mukaan. Puupalat kyllästettiin ionivaihdetulla vedellä, minkä jälkeen palat asetettiin vesiastioihin. Koeastioiden vesi vaihdettiin standardissa kuvatun menetelmän mukaisesti ja otettiin talteen kloridianalyysiä varten. Veden kloridipitoisuus analysoitiin Chloride ionplus® Sure-Flow® Solid State Combination ISE -mittarilla.

TULOKSIA PUUJÄTTEEN KÄYTETTÄVYYDESTÄ

Puujätteen murskaus käytössä olevalla laitteella tuottaa pitkäkuituista lastua. Murske on kooltaan noin 5–100 mm pitkää tikkua. Vaihtelevan koon takia murskaimesta tullut materiaali piti seuloa, jotta pienimmät tikut saatiin erotettua hiekoituskokeessa käytetystä murskeesta. Mursketta seulottaessa 8 mm seulan läpi noin puolet materiaalista oli liian pienikokoista liukkaudentorjuntakokeeseen.

Käytetyllä menetelmällä tuotetun murskeen käyttöä rajoittaa siitä irtoavien tikkujen määrä, joka esimerkiksi kevyen liikenteen väylillä vaarantaa lemmikkieläinten tassut. Murskeen tikumaisuuden sekä kokojakauaman epätasaisuuden takia tulevilla kokeilla tulisi jätemurskain korvata esimerkiksi hakkurilla tai silppurilla, joka tuottaisi tasakokoista ja muotoista palaa.

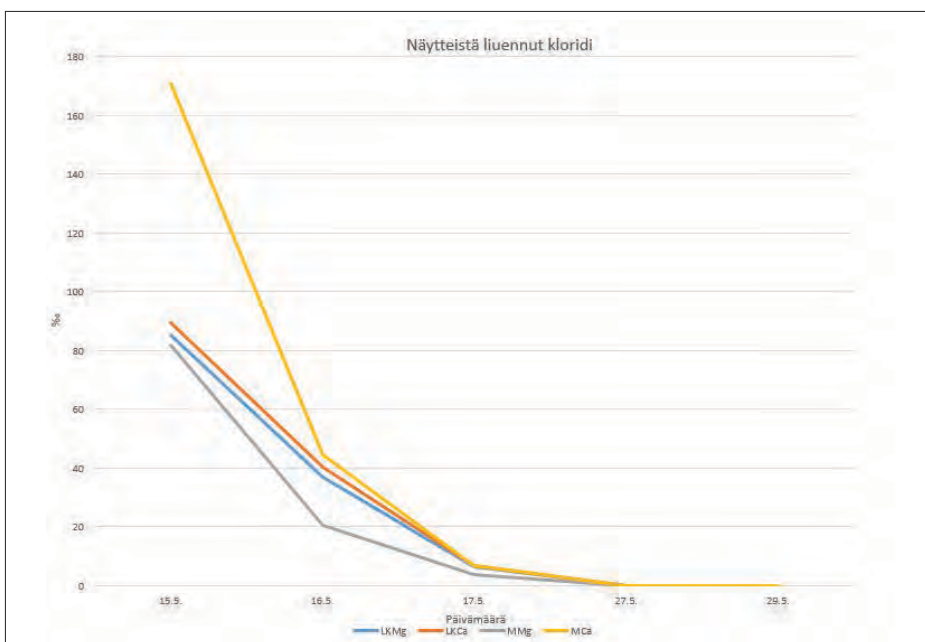
Aiempien tutkimuksien mukaisesti pienen mittakaavan kokeissa huomattiin suolaliuoksilla kyllästettyjen puulastujen tarttuvan jään pintaan ja toimivan liukuesteinä. Käsittelemättömät puulastut jäivät jään pinnalle ja liukuivat siinä hiekan tapaan. Suolakäsitellyt lastut jäättyivät pintaan kiinni, mikä paransi pitoa. Kalsiumkloridilla käsitellyt lastut pureutuivat jäähän hieman paremmin kuin magnesiumkloridilla käsitellyt, mutta jatkokokeissa tulee eron syntymistä ja suuruutta tutkia tarkemmin.

Tulevilla liukkaudentorjuntakokeissa aiotaan testata myös kaliumformiaatilla kyllästettyä puuta. Kaliumformiaatti on ympäristölle ja varsinkin pohjavesille turvallisempaa kuin kloridia sisältävät suolat, ja sitä on alettu käyttää lentokenttien lisäksi myös pohjavesialueilla (Suomen ympäristökeskus 2010). Kaliumformiaatin käyttöä rajoittaa sen korkea hinta, joka on moninkertainen perinteiseen tiesuolaan verrattuna. (Liikennevirasto 2016)

SUOLALLA KYLLÄSTETTYJEN PUUHAKKEIDEN YMPÄRISTÖVAIKUTUKSISTA

Liutuskokeissa kalsiumkloridilla kyllästetty havupuuhake vapautti ensimmäisen vuorokauden aikana lähes kaksi kertaa enemmän suoloja kuin muut koekappaleet (kuva 3). Magnesiumkloridilla käsitelty havupuuhake taas vapautti testatuista kappaleista vähiten suoloja koko testin aikana.

Ensimmäisen päivän tuloksia kalsiumkloridilla käsitellyn havupuuhakkeen osalta voi selittää palojen liuottamiseen käytetyn veden määrä ja sen haihtuminen ennen kloridimittausten suorittamista.



KUVA 3. Liuotuskokeiden tulokset.

Kloridin liukenemiseen puulastuista meni noin kolme päivää. Käytetty liuotuskoe oli todella rankka, eivätkä puulastut luonnossa joudu samanlaiseen testiin. Kokeen tehosta huolimatta selvää on, että puulastuista liukenee suolaa varsinkin keväisin sulamisveden mukana, jolloin kloridipitoista vettä pääsee kulkeutumaan luontoon.

JOHTOPÄÄTÖKSIÄ PUUJÄTTEEN SOVELTUVUUDESTA

Puuhakkeen kyllästäminen suolaliuksilla voi olla yksi mahdollisuus puujätteen kierrätykselle tulevaisuudessa. Tehtävään soveltuu A-luokan puhdas puujäte, jossa ei ole ympäristölle haitallisia liukenevia haitta-aineita, esimerkiksi käytöstä poistetut puhtaat kuormalavat. Puujätteen käsittelyä pitää vielä kehittää ennen laajamittaista testiä kevyen liikenteen väylillä. Puun murskausvaiheessa olisi tärkeää saada tasakokoista ja -laatuista puuhaketta, josta ei irtoa tikkuja esimerkiksi lemmikkien tai pyöräilijöiden haitaksi.

Kustannusarviota puujätteen käytöstä liukkaudentorjunnassa ei ole tehty. Kokeessa käytettyjen kloridia sisältävien suolojen korvaaminen kaliumformiaatilla nostaa hakkeen hintaa, mutta samalla parantaa tuotteen ympäristöystävällisyyttä. Puujäte itsessään on ilmaista, mutta sen lajittelusta, käsittelystä sekä kuljettamisesta koituu kustannuksia. Puuhakkeen soveltuvuutta ja kustannuksia pohdittaessa tulisi ottaa myös huomioon hiekoituksesta aiheutuvat vauriot ajoneuvoille sekä keväisin ihmisille aiheutuva terveyshaitta, jolloin saataisiin kattava selvitys tuotteen haitoista ja hyödyistä.

LÄHTEET

Anburaj M., Fay L., Akin M., Wang S., Gong J. & Shi X. 2014. Correlating lab and field tests for evaluation of deicing and anti-icing chemicals: A review of potential approaches. Saatavissa: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0165232X13001523>

Hengitysliitto. 2019. Katupöly. Saatavissa: <https://www.hengitysliitto.fi/fi/terveys-hyvinyvointi/ulkoilma-ilmanlaatu/katupoly>

Liikennevirasto. 2016. Kaliumformiaatin käytön ympäristö- ja liikenneturvallisuusvaikutukset. Saatavissa: https://julkaisut.vayla.fi/pdf8/lts_2016-05_kaliumformiaatin_kayton_web.pdf

Liikennevirasto. 2017. Maanteiden talvihoito. Saatavissa: https://julkaisut.vayla.fi/pdf8/lo_2017-01_maanteiden_talvihoito_web.pdf

Stop Gliss Bio, 2018. Kotisivut, saatavissa <http://www.stopglissbio.com/index.php/en/>

Suomen ympäristökeskus. 2010. Vaihtoehtoisten liukkaudentorjunta-aineiden kulkeutuminen pohjavedessä (MIDAS). Saatavissa: <https://www.syke.fi/hankkeet/midas>

TUOTTAVUUTTA JA TYÖHYVINVOINTIA YHTEISKEHITTÄMISEN KEINAIN PUUHUOLTOALALLE

Sinikka Mynttinen & Petri Leirivirta & Mikko Pulkkinen

Metsäteollisuuden investoinnit ovat lisänneet puun kysyntää Etelä-Savossa. Kasvavien hakkuiden ja kuljetusten myötä puuhuoltoalaa pitkään vaivanneet kannattavuusongelmat eivät kuitenkaan ole vähentyneet. Samanaikaisesti alan muuttuva toimintaympäristö vaatii yrittäjiltä ja henkilöstöltä yhä monipuolisempaa osaamista yritys-kasvun, kustannusten nousun, kilpailun kiristymisen ja uuden teknologian esiinmarssin kautta. Lisäksi ikärakenteen muutos ja vaikeudet uusien työntekijöiden saatavuudessa lisäävät alan ongelmia. Pääomavaltaisen puuhuoltoalan kasvavat haasteet edellyttävät sekä työprosessien että henkilöstötuottavuuden parantamista. Xamkin, Esedun ja SAMIedun toteuttaman Metsäalan osaajat 2020 -hankkeen (2019–2021) tavoitteena on uudistaa eteläsavolaisten puunkorjuu-, metsäkuljetus- ja puunkuljetusyritysten tuottavuutta, tuloksellisuutta ja henkilöstön työhyvinvointia osallistamalla koko henkilöstö kehittämiseen.

PUUNHANKINTAKETJUN OSAAMISEN JA TYÖHYVINVOINNIN UUDISTAMINEN

Metsäsektorin aluetaloudelliset vaikutukset ovat hyvin merkittäviä Etelä-Savossa. Vuonna 2018 maan suurimmat hakkuumäärät kertyivät Etelä-Savon alueelta, ja teollisuuspuun määrä oli 7,5 miljoonaa kuutiota (www.statdb.luke.fi). Nykytilanteessa metsätalous kerroinvaikutuksineen työllistää alueella noin 2 300 henkilöä osana metsätoimialaa, ja sen tuotantoarvo on 750 miljoonaa euroa (Karttunen ym. 2017). Metsä on myös yksi Etelä-Savon maakuntaliiton määrittelemistä älykkään erikoistumisen strategian 2018–2021 kärkivalintoja (www.esavo.fi). Puun kysyntä tulee Etelä-Savossa edelleen kasvamaan, sillä metsäteollisuus on investoinut merkittävästi lähialueilla.

Puuhuoltoalaa jo pitkään vaivanneet kannattavuusongelmat eivät ole helpottaneet kasvavien hakkuiden ja kuljetusten myötä, vaan Koneyrittäjien liiton teettämän vuoden 2018 kannattavuus selvityksen mukaan keskimääräisen puunkorjuuyrityksen kannattavuus laskee ja on heikko (www.koneyrittajat.fi). Puunkorjuu- ja -kuljetusyritysten toimintaympäristö on muutoksessa: yritysten koko on kasvanut, yhä useammalla yrityksellä on useita koneketjuja tai autoja, kustannukset nousevat ja suuret kilpailutusrenkaat painavat katteita

alas. Myös nopea teknologinen kehitys muuttaa puuhuoltoyritysten toimintaympäristöä vaativampaan, tiedolla johtamisen suuntaan ja vaatii sekä yrittäjiltä että henkilöstöltä yhä monipuolisempaa osaamista.

Fyysisen jaksamisen rinnalle ja ohikin on noussut henkisten voimavarojen merkitys. Lisäksi henkilöstö ikääntyy, ja noin 70 prosenttia puunkorjuuyrityksistä kokee uusien työnteekijöiden löytämisen työlääksi. Tärkeimpinä syinä työvoiman saatavuusongelmiin mainitaan alan heikohko houkuttelevuus, kuljettajien siirtyminen muille aloille ja palkanmaksukyvyn heikkous. Alustavissa keskusteluissa eteläsavolaisten puunkorjuuyritysten kanssa on tullut esiin tarpeita, jotka liittyvät erityisesti digitalisaation hyödyntämiseen, toiminnan tehostamiseen ja yritystalouden seurannan systematisointiin. Näihin seikkoihin kiinnittää huomiota myös Metsätehon johtama selvitystyö ”Tehokas puuhuolto 2025” (www.metsateho.fi), joka asettaa alan kehittämistavoitteeksi 30 prosenttia kustannustehokkaamman puuhuollon vuonna 2025. Tavoitteen saavuttaminen edellyttää puunkorjuu-, metsäkuljetus- ja puutavarakuljetusyritysten osaamisen uudistamista ja laaja-alaista kehittämistä sekä työprosessien tuottavuuden että työhyvinvoinnin osalta.

Metsäalan osaajat 2020 -hankkeen tavoitteena on edistää puuhuoltoalan tuottavuutta, tulokellisuutta ja henkilöstön työhyvinvointia hyödyntäen lean-ajattelun periaatteita ja uusia yrittäjävetoisia toimintatapoja. Hankkeessa kehitetään ratkaisuja, toimintamalleja ja menetelmiä puunkorjuu-, metsäkuljetus- ja puutavaran kuljetusyritysten työn organisointiin ja johtamiseen tuottavuuden ja työhyvinvoinnin parantamiseksi. Lisäksi hankkeessa kartoitetaan yrittäjien ja työntekijöiden yksilöllisiä työhyvinvointia parantavia menetelmiä ja toimintatapoja. Hanketoimenpiteiden kohderyhmän muodostavat puunkorjuu-, metsäkuljetus- ja puunkuljetusyritysten yrittäjät, työntekijät, toimihenkilöt ja alihankkijat.

LEAN-JOHTAMINEN

Japanilaiset kehittivät lean-filosofian 1950-luvun puolivälissä. Lean-johtamisen käytäntöjä on hyödynnetty menestyksekkäästi tehdasteollisuudessa viimeisimpien vuosikymmenten ajan. (Bradford, Mayfield & Toney 2001) Myös palveluelinkeinot soveltavat nykyisin lean-menetelmää tehokkuuden edistämiseksi ja huippulaatuisten palvelujen tuottamiseksi (Vignesh, Suresh & Aramvalarthan 2016). Keskeisiä periaatteita lean-tuotannossa on hukan vähentäminen luopumalla toimenpiteistä, jotka eivät tuota lisäarvoa, varmistamalla tämän periaatteen soveltamisen koko hankintaketjussa, luomalla jatkuvia tuotevirtoja ilman pullonkauloja, valmistamalla tuotteita kysynnän mukaan, ei niinkään tarjontaan perustuen, ja korostamalla laatua (Bradford ym. 2001). Lean-ajattelussa kiinnitetään huomiota työprosessien vakiinnuttamiseen ja standardointiin siten, että kriittiset ongelmat tulevat ajoissa esille. Johtajien sitoutuminen keräämään ja analysoimaan dataa sekä toteuttamaan lean-periaatteita on kriittinen menestystekijä muutoksen tavoittelussa (Bujak, Carvalho & Sriramulu 2012). Toisaalta lean-tuotannossa myös työntekijät ovat sitoutuneita kehittämään

kriittistä ajattelukykyä ongelmien ratkaisemiseksi ja työnkulun parantamiseksi (Alsmadi, Almani & Jerisat 2012).

Lean-johtamisen omaksuminen käsittää operaatioiden johtamisen (OM) ja henkilöstöjohtamisen (HRM) käytäntöjen yhdistämisen (de Menezes, Wood & Gelade 2010). Kirjallisuudessa on tunnistettu kahdeksan keskeistä lean-käytäntöihin liittyvää kokonaisuutta (Jadhav, Mantha & Rane 2014):

- hukan poistaminen
- laadun tasaisuus
- toimitusten luotettavuus
- määrien joustavuus
- alhaiset kustannukset
- henkilöstöjohtaminen
- terveys ja turvallisuus
- luovuus ja innovatiivisuus.

ICT-toiminnot ovat tärkeä apuväline lean-johtamisessa. Erityisesti yrityksen toiminnanohjausjärjestelmillä (ERP) on merkittävä vaikutus liiketoimintaan. Yhdistämällä yrityksen dataa ne tarjoavat yhden täsmällisen tietolähteen koko organisaation käyttöön. (Olson 2004) ERP-järjestelmään tieto syötetään vain kerran, mikä lisää sen tehokkuutta. ERP-järjestelmät lisäävät toiminnallisuutta monin tavoin mukaan lukien kehittyneet suunnittelujärjestelmät sekä tuotannonsuunnittelu ja seuranta. (Wacker & Sheu 2006)

Yksi lean-johtamisen peruseriaatteista on ihmisten osallistaminen. Työntekijöiden kohtelu ja kunnioitus, motivaatio, viestintä, ongelmien ratkaisu ja tiimityöskentely ovat keskeisiä tekijöitä lean-johtamisen onnistumiselle. (Hines, Found, Griffiths & Harrison 2008) Kaiken kaikkiaan tiimityöskentely, johdon tuki työtehtävissä ja työntekijöiden osallistaminen toiminnan parantamiseen auttavat vähentämään työntekijöiden stressiä (Conti, Angelis, Cooper, Faragher & Gill 2006).

Tarkasteltaessa lean-johtamista kestävyuden näkökulmasta monet sen periaatteet palvelevat sekä taloudellista, ympäristöön liittyvää että sosiaalista kestävyyttä. Lean-johtamisessa pyrkimys kasvattaa lisäarvoa tavoittelemalla nollahävikkiä ja resurssien tehokasta käyttöä on yhteydessä myös ympäristöhaittojen vähentämiseen. (King & Lenox 2001) Lisäksi laadun parantaminen prosessin eri vaiheissa korostaa paitsi esiin tulevien ongelmien nopeaa ratkaisua myös niiden uudelleen esiintymisen ehkäisemistä. Siten lean-johtaminen mahdollistaa ympäristövaikutusten eliminoimisen prosessin aikana eikä vasta peruuttamattomien seurausten toteutuessa. (Sawhney, Teparakul, Bagchi & Li 2007) Kehittyneet henkilöstöjohtamisen käytännöt, kuten työntekijöiden osaamisen kehittäminen, työntekijöiden osallistuminen työn standardointiin, tiimityö ja kehittämissyöryhmien olemassaolo, edesauttavat myös ympäristöjohtamisen periaatteiden ja käytäntöjen omaksumista (Soltero & Waldrip 2002).

YRITTÄJÄVETOINEN YHTEISKEHITTÄMISEN TOIMINTAMALLI

Pk-yrittäjiä ja erityisesti puuhuoltoalan yrittäjiä on hyvin vaikea motivoida osallistumaan koulutuksiin ajanpuutteen ja välimatkojen vuoksi. Toisaalta puunhankintayritysten toimintaa voidaan parhaiten kehittää hyödyntämällä uusia yrittäjävetoisia toimintatapoja ja yhteiskehittämisen menetelmiä. Tästä syystä Metsäalan osaajat 2020 -hankkeen toimenpiteet pyritään viemään mahdollisimman lähelle yrittäjän ja työntekijöiden arkea paikan päälle työpisteisiin. Hankkeessa pilotoidaan ja kehitetään puunkorjuun ja -kuormauksen sekä koko puunhankintaketjun tuottavuus seurannan käytännön työprosesseja yhteistyössä yritysten kanssa. Samoin järjestetään yrittäjän ja henkilöstön tarpeista lähteviä työhyvinvointimittauksia ja -valmennuksia sekä työhyvinvointia edistäviä tilaisuuksia. Lähtökohtana on yksilöityjen toimenpiteiden suunnittelu työhyvinvoinnin ja tuottavuuden kehittämiseksi yhteistyössä yritysten kanssa. Hankkeen toimenpiteet kussakin pilottiyrityksessä räätälöidään yrittäjien ja työntekijöiden tarpeiden perusteella koskien johtamista, työprosesseja, työn kuormittavuutta ja palautumista, digitaalisia laitteita, ohjelmia ja palveluita, talouden sähköisiä sovelluksia ja sisältöjä sekä kestävyys- ja luontoarvojen tunnistamista ja huomiointia.

TYÖN TUOTTAVUUDEN JA TYÖHYVINVOINNIN MITTAUKSISTA SEURANNAN JALKAUTTAMISEEN

Puuhuoltoyrittäjien työnkuvan vaatimukset asettavat yhä uusia haasteita toimintaprosessien hallinnalle. Sekä puunkorjuun ja puunkuormauksen että koko puuhuoltoketjun pilotointien kautta havainnollistetaan yritys- ja työntekijäkohtaisia tuottavuuteen ja työhyvinvointiin liittyviä työprosesseja ja suunnitellaan yksilöityjä toimenpiteitä ja yrityskohtaisia toimintamalleja niiden parantamiseksi. Samalla kiinnitetään erityistä huomiota puunkorjuun ympäristövaikutusten minimointiin, kuten vesistöjen suojeluun, luontokohteisiin ja korjuujäljen omavalvontaan.

Puunkorjuun ja -kuljetusten piloteissa työn tuottavuutta kehitetään hyödyntämällä korjuukoneen tuottamaa dataa yhteistyössä konevalmistajien kanssa ja tekemällä työprosessit näkyviksi muun muassa videoinnin avulla. Työtekniikoihin pyritään vaikuttamaan analysoimalla ja tunnistamalla tuottavuutta heikentäviä ja parantavia tekijöitä sekä suunnittelemalla ja pilotoimalla erilaisia työprosesseihin liittyviä ratkaisuja, toimintamalleja ja menetelmiä työhyvinvoinnin ja tuottavuuden kehittämiseksi yhdessä yrittäjien ja metsäkoneen, ajokoneen tai puutavara-auton kuljettajien kanssa. Tuottavuus seurannan yhteydessä tarkastellaan sekä korjuutyön laadun että luontoarvojen huomioimista. Koko puunkorjuuketjun tuottavuuden parantamiseksi yrityksen johtamisen optimointipiloteissa kartoitetaan ja testataan puunkorjuun ja metsäkuljetuksen työprosesseihin liittyvää suunnittelua ja toteutusta sekä niiden ja puunkuljetusyritysten välistä yhteistyötä. Toimintaprosessien tarkastelussa ja arvioinnissa hyödynnetään erityisesti uusia digitaalisia suunnittelu- ja ohjausjärjestelmiä.

Puunhankintayritysten tuottavuus seurannan ja talousseurannan yhdistäminen tarjoaa

mahdollisuuden parempaan kustannusten hallintaan ja kannattavuuteen. Pilottiyrityksissä selvitetään tuottavuus-, kustannus- ja talousseurannan ja -hallinnan nykytilaa sekä niihin liittyviä tarpeita. Yrityksille esitellään tarpeen mukaan korjuuyritysten tuottavuus- ja talousseurantaan kehitettyjä sovelluksia ja tarkastellaan niiden soveltuvuutta kunkin yrityksen kannattavuusseurannan näkökulmasta.

Hankkeen pilottien pohjalta puunhankintayrityksissä ja työkohteissa järjestetään työntekijöiden ohjausta sekä yrittäjien sparrausta uusien ratkaisujen, toimintamallien ja menetelmien jalkauttamiseksi päivittäisiin käytäntöihin.

Yrityksissä toteutettavien pilotointien tueksi järjestetään lyhytkestoisia kehittämistilaisuuksia, joissa perehdytään puuhooltoyrityksen lean-johtamiseen, tuottavuutta ja tuloksellisuutta parantavien toimintaprosessien suunnitteluun ja toteuttamiseen, digitaalisiin suunnittelu- ja ohjausjärjestelmiin, systemaattisen tuottavuus- ja talousseurannan jalkauttamiseen yrityksen käytäntöihin, kestävyys- ja luontoarvojen huomiointiin puunkorjuussa sekä sidosryhmätaitoihin. Tilaisuudet ovat avoimia myös muille kuin pilottiyrityksille.

Työhyvinvoinnin kehittämiseksi toteutetaan työn kuormittavuuden ja palautumisen mitauksia ja seuranta sekä etsitään keinoja työntekijöiden osaamista, työmotivaatiota ja työkykyä edistäviksi yksilöllisiksi ratkaisuksiksi. Tavoitteena on parantaa yrittäjien ja työntekijöiden valmiuksia sopeutua työn muuttuviin haasteisiin kiinnittämällä huomiota työkykyyn ja työmotivaatioon – toisaalta ikääntyvien työssä jaksamiseen ja toisaalta nuorempien motivaation ja alalla jatkamisen edellytyksiin. Hankkeessa järjestettävät työhyvinvointitapahtumat tukevat verkostoitumista alan yritysten kesken, yrittäjien ja henkilöstön yhteishengen vahvistumista sekä aktiivisuutta fyysisestä ja henkisestä hyvinvoinnista huolehtimisessa.

Toimenpiteiden tavoitteena on varmistaa puunkorjuu-, metsäkuljetus- ja puutavarankuljetusyritysten tuloksellisuus ja kilpailukyky parantamalla yrittäjien ja työntekijöiden sopeutumiskykyä voimakkaasti muuttuvaan toimintaympäristöön. Jotta osaavien työntekijöiden saatavuus puuhooltoalalle varmistetaan, hankkeen tavoitteena on tukea työhyvinvoinnin, johtamisen ja toimijoiden motivaation jatkuvaa seuranta ja kehittämistä alan yrityksissä. Hankkeen tuloksena syntyy ratkaisuja ja uusia toimintatapoja, jotka kehittävät puuhooltoalan johtamista, työn organisointia, tuottavuutta, työmotivaatiota, työkykyä ja niiden seuranta. Alueen puuhooltoalan yritykset ja yrityksissä erilaisissa tehtävissä työskentelevät henkilöstö- ja ammattiryhmät saavat uutta osaamista, joka lisää sekä työn tuottavuutta että työhyvinvointia.

LÄHTEET

Alsmadi, M., Almani, A. & Jerisat, R. 2012. A comparative analysis of Lean practices and performance in the UK manufacturing and service sector firms. *Total Quality Management & Business Excellence*, 23: 381–396.

Bradford, M., Mayfield, T. & Toney, C. 2001. Does ERP fit in a lean world? *Strategic Finance*, 82: 28–34.

Bujak, A., Carvalho, W. & Sriramulu, R. 2012. Lean Management and Operations in the Global Professional Services Industry. In: Baumer, U. et al. (eds.) *Globalization of Professional Services*.

Conti, R., Angelis, J., Cooper, C., Faragher, B. & Gill, C. 2006. The effects of lean production on worker job stress. *International Journal of Operations and Production Management*, 26: 1013–1038.

de Menezes, L.M., Wood, S. & Gelade, G. 2010. The integration of human resource and operation management practices and its link with performance: a longitudinal latent class study. *Journal of Operations Management*, 28: 455–471.

Etelä-Savon maakuntaliitto. Älykkäästi erikoistunut tutkimus- ja innovaatiotoiminta 2018–2021 – Etelä-Savon älykkään erikoistumisen strategia. https://www.esavo.fi/resources/public//Maakuntaliitto/Julkaisut/SE5111_Esavo_AES_strategia_NET.pdf

Hines, P., Found, P., Griffiths, G. & Harrison, R. 2008. *Staying Lean: Thriving, Not Just Surviving*. Lean Enterprise Research Centre, Cardiff University, Cardiff.

Jadhav, J.R., Mantha, S.S. & Rane, S.B. 2014. Development of framework for sustainable Lean implementation: an ISM approach. *Journal of Industrial Engineering International*, 10: 72:1–27.

Karttunen, K. (toim.), Karhunen, A., Laihanen, M., Ranta, T., Ahtikoski, A., Huuskonen, S., Kojola, S., Lehtonen, M., Salminen, H. & Hynynen, J. 2017. *Metsätoimialan aluetaloudellinen vaikuttavuus Etelä-Savossa – tulevaisuusvisio 2020-luvulla*. Lappeenrannan teknillinen yliopisto. Raportit ja selvitykset 71.

King, A.A. & Lenox, M.J. 2001. Lean and green? An empirical examination of the relationship between lean production and environmental performance. *Production and Operations Management*, 10:244–256.

Koneurakoinnin kannattavuus yhä matalalla. 2018. Koneyrittäjien liitto ry. Lehdistö-tiedote 29.8.2018. <https://www.koneyrittajat.fi/pages/etusivu/medialle/tiedotteet/tiedotteet2018/20180829.php>

Luonnonvarakeskus. 2019. Teollisuuspuun hakkuut omistajaryhmittäin ja maakunnittain. <https://statdb.luke.fi/PXWeb/pxweb/fi/LUKE/>.

Olson, D.L. 2004. Managerial issues of enterprise resource planning systems. Boston: McGraw-Hill/Irwin.

Sawhney, R., Teeparakul, P., Bagchi, A. & Li, X. 2007. En-lean: a framework to align lean and green manufacturing in the metal cutting supply chain. *International Journal of Enterprise Network Management*, 1: 238–260.

Soltero, C. & Waldrip, G. 2002. Using kaizen to reduce waste and prevent pollution. *Environmental Quality Management*, 11: 23–38.

Tehokas puuhuolto 2025. Metsäteho Oy. http://www.metsateho.fi/wpcontent/uploads/2015/03/Tehokas_puuhuolto_2025_web.pdf

Vignesh, V., Suresh, M. & Aramvalarthan, S. 2016. Lean in service industries: A literature review. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* 149: 1-10. doi:10.1088/1757-899X/149/1/012008.

Wacker, J.G. & Sheu, C. 2006. Effectiveness of manufacturing planning and control systems on manufacturing competitiveness: Evidence from global manufacturing data. *International Journal of Production Research*, 44: 1015–1036.

PALOSUOJAUKSELLA UUTTA LIIKETOIMINTAA LÄMPÖPUUKLUSTERILLE

Juho Peura

Suomessa rakennusten palokuormaa eli tilassa olevan aineen palaessa vapautuvaa kokonaislämpömäärää on säännöksillä rajoitettu lähes kaikissa rakennuksissa lukuun ottamatta omakotitaloja ja muita pienrakennuksia. Palokuorma on myös merkittävä puun käyttöä rajoittava tekijä julkisissa rakennuksissa sekä työpaikka- että teollisuusrakennuksissa etenkin sisätiloissa. Rakenteille asetetut palonkestovaatimukset ovat kuitenkin samat materiaalista riippumatta ja näin ollen palonsuojauksella voidaan lisätä puun käyttöä merkittävästi.

Lämpöpuulla on kaksi iso etua normaaliin puutavaraan verrattuna. Keveytensä vuoksi lämpöpuutuotteiden palokuormantiheys eli palokuorma pinta-alayksikköä kohden on pienempi kuin muilla puutuotteilla. Toinen etu on, että lämpöpuu on kyllästettävissä palosuoja-aineilla huomattavasti helpommin kuin normaalit puutuotteet. Tähän saakka lämpöpuun palokäyttytymistä sellaisenaan tai palosuoja-aineilla suojattuna on tutkittu vain vähän. Siksi tämän hankkeen tavoitteena onkin tutkia ja kehittää lämpöpuun palosuojausta. Hankkeessa keskitytään tutkimaan erityisesti Thermo-D-männyn sekä Thermo-D-kuusen palo-ominaisuuksia ulkoverhoustuotteena.

Palosuojauksella uutta liiketoimintaa lämpöpuuklusterille -hanketta rahoittaa Etelä-Savon maakuntaliitto Euroopan aluekehitysrahastosta (EAKR) sekä Lämpöpuuyhdistys ry, Kiilto Oy, Nordtreat As, Palonot Oy ja Teknos Oy. Hanke on alkanut syksyllä 2017 ja se päättyy 31.12.2019.

TOIMENPITEET JA TULOKSET

Hankkeessa tutkitaan palosuojattujen tuotteiden valmistusteknologioita eli sitä, millaisilla prosesseilla ja laitteilla palosuojattuja lämpöpuutuotteita olisi kannattavaa valmistaa. Lisäksi testataan erilaisten lämpöpuutuotteiden palo-ominaisuuksia. Hankkeessa kartoitetaan myös vaatimukset, hyväksynnit, määräykset sekä asiakastarpeet, jotka liittyvät palosuojattuihin puutuotteisiin ja järjestelmäkokonaisuuksiin.

Hankkeen avulla saadaan selvitettyä erilaisten lämpöpuutuotteiden palo-ominaisuudet ja uutta tietoa palosuojattujen tuotteiden teollisista valmistusmenetelmistä. Tulosten avulla

voidaan arvioida, onko mahdollista luoda lämpöpuun palosuojauksella uutta kannattavaa liiketoimintaa lämpöpuuteollisuudelle ja puurakentamiseen. Suurin osa Suomessa tuotetusta lämpöpuusta viedään ulkomaille, jossa sitä käytetään rakennusten ulko- ja sisäverhouksissa. Hankkeessa selvitetään, onko lämpöpuun pienemmästä palokuormasta etua rakentamisessa Suomen lisäksi tärkeimmillä vientimarkkinoilla.

Tutkimuksesta hyötyvät erityisesti lämpöpuun valmistajat, jotka voivat hyödyntää tuloksia markkinoinnissaan ja tuoda uusia lämpöpuupohjaisia ratkaisuja markkinoille. Mikäli palosuojatuille lämpöpuutuotteille löytyy kannattavia käyttökohteita, tutkimuksesta hyötyy koko lämpöpuu- ja puurakentamisklusteri. Puutuotteiden käytön lisääminen edistää myös vähähiilisyyttä.

KOEMATERIAALIT JA NIIDEN KÄSITTELY KAAKKOIS-SUOMEN AMMATTIKORKEAKOULULLA

Hankkeessa tutkittavaksi materiaaliksi valittiin Lämpöpuuyhdistys ry:n kanssa Thermo-D-mänty sekä -kuusi. Rajaus tehtiin Thermo-D-tuotteisiin, koska ne on käsitelty kestävämmän ulkokäyttöä paremmin kuin esimerkiksi Thermo-S. Hankkeessa keskityttiin pääasiassa ulkoverhoustuotteisiin, jotka ovat palosuojauksen kannalta merkittävimpiä Thermo-D-tuotteiden käyttökohteita. Hankkeen aikana käsiteltävät koemateriaalit tulevat suoraan Thermo-Wood-tuotannosta, jotta materiaalit olisivat lähtötilanteessa mahdollisimman lähellä teollista tuotantoa. Näin menettelemällä saadaan hyvin vertailukelpoiset tulokset riippumatta tuotantolaitoksesta. Yleisesti alkutestausta tehdessä onkin hyvin tärkeää, että koemateriaalin lähtötiedot ja valintakriteerit ovat selvillä, jotta lopullisia testituloksia voidaan hyödyntää yleisemmin.

Käsittelymenetelminä on käytetty painekyllästystä ja pintakäsittelyä kemikaalin valmistajan suositusten ja ohjeiden mukaisesti. Painekyllästyksissä on kokeiltu kyllästää Thermo-D-materiaaleja erilaisilla ali- ja ylipaineprosesseilla tai näiden yhdistelmillä. Jokaisesta prosessista on tarkastettu palosuojaj-aineiden retentiot (kg/m^3) punnitsemalla kappaleet ennen käsittelyä ja sen jälkeen. Pintakäsittelyt on tehty perinteisesti sively- tai telakäsittelyinä käsin ja levitysmäärät (g/m^2) on tarkastettu punnitsemalla kappaleet käsittelyn aikana.

Yleisesti on huomioitava, että painekyllästyksessä kemikaalin kulutus on suurinta. Esimerkiksi männyn pintapuuhun voidaan saada imeytymään vesiliukoisia kemikaaleja jopa 600–700 kg/m^3 . Huomioitavaa on myös se, että männyn pinta- ja sydänpuu käyttäytyvät eri tavalla. Kuusi kyllästyy mäntyä selvästi heikommin. Kuusi kyllästyy tavallisesti vain muutaman millimetrin syvyydeltä pinnasta, mutta tämä voi olla riittävä joissain käyttökohteissa. Eri prosessiparametreilla voidaan säätää tunkeuman syvyyttä sekä ainemäärää lopullisen käyttökohteen vaatimusten mukaisesti. Koemateriaalia valittaessa tulisikin huomioida puulajien eri ominaisuudet ja niiden käyttäytyminen käsiteltäessä. Jos käsiteltävistä kappaleista tehdään koekappaleita jatkotutkimuksiin, tällöin tulisi käyttää riittävän pitkiä koekappaleita.

Riittävän pitkillä koekappaleilla saadaan kyllästyksissä päätyvaikutukset huomioitua, kun taas pintakäsittelyt voidaan tehdä monessa tapauksessa suoraan lopullisille testikappaleille.

PALOSUOJATUN LÄMPÖPUUN ISO 5660-1 -KARTIOKALORIMETRIKKEET

ISO 5660 -kartiokalorimetrikoe on usein käytetty menetelmä palonsuoja-aineiden toimivuutta testattaessa. Kokeessa näytteet altistetaan säteilyvuolle, jonka tiheys on tavallisesti 50 kW/m². Tässä menetelmässä näytteet ovat pieniä (100 x 100 mm), joten sillä voidaan helposti ja nopeasti haarukoida useita eri käsittelyjä ja tuotevaihtoehtoja (kuva 1). Kartiokalorimetrikokeesta saadaan kuitenkin vain suuntaa antavia tuloksia ja lopullinen paloluokitus testataan muilla menetelmillä, kuten SBI-palonurkkakokeella ja pienen liekin polttokokeella.

Lämpöpuun palonsuojaus -hankkeessa on testattu palosuojattuja Thermo-D-männystä sekä Thermo-D-kuusesta valmistettuja koekappaleita. Koekappaleet on joko painekyllästetty tai pintakäsittely palonsuoja-aineella. Painekyllästyksissä käytettiin yhden metrin mittaisia koekappaleita, jotta päätyvaikutukset saatiin huomioitua. Testeissä on ollut myös käsittelemättömiä lämpöpuuta vertailuksi palosuojatuille tuotteille. Kuvassa 1 on käsittelemättömiä sekä palonsuoja-aineella käsiteltyjä koekappaleita sahattuina sekä lajiteltuina kartiokalorimetrikokeita varten.



KUVA 1. Palosuojattuja ja suojaamattomia kartiokalorimetrinäytteitä (kuva Juho Peura).

ISO 5660 -kartiokalorimetrikokeesta saadaan selvitettyä tuotteesta vapautuva lämmöntuotto (kW/m²), massahäviö (g), syttymisherkkyys (s) ja savuntuotto (m³/s). Kokeen aikana testattavien tuotteiden syttymistä ja syttymisen jälkeistä palamista seurataan silmämää-

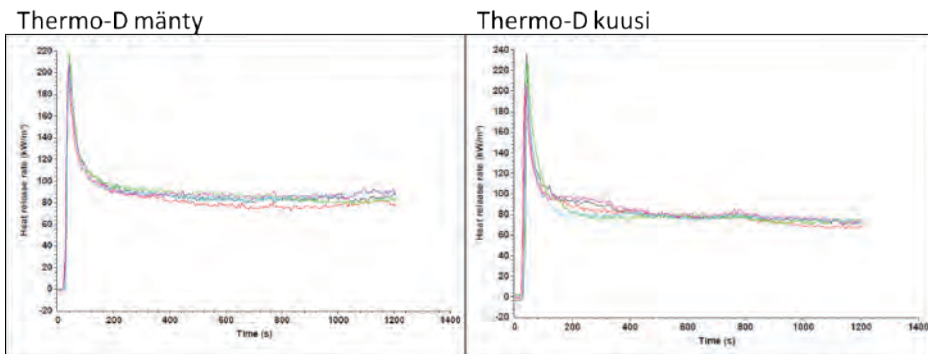
räisesti. Taulukossa 1 on esitettyä ISO 5660 -kokeen tuloksia palosuojaamattomalle sekä palosuojuatulle Thermo-D-männylle sekä -kuuselle (säteilyvuon tiheys 50 kW/m² ja altistus aika 1200 s). Taulukon 1 tulokset ovat laskettu viiden koekappaleen keskiarvoina.

TAULUKKO 1. ISO 5660-1 -kartiokalorimetrikokeen tuloksia käsittelemättömälle sekä palosuoja-aineella käsitellylle Thermo-D-männylle ja -kuuselle.

ISO 5660 Test	t(ig)	t(fo)	HRR(peak)	tpeak	THR	SPR (av)	Δ m	MAHRE
Materiaali	s	s	kW/m ²	s	MJ/m ²	m ² /s	g/m ²	kW/m ²
TW mänty	15	0	207,06	39	105,19	0,0057	7249,3	103,55
TW kuusi	51	0	191,64	70	94,03	0,0005	6639,4	98,50
Kyllästetty TW mänty	20,8	31,4	91,06	41	29,21	0,0037	6315,3	30,75
Kyllästetty TW kuusi	14	5,2	99,16	34	60,91	0,0008	5724,6	56,75
Maalattu TW mänty	18,4	10,8	90,14	70	81,06	0,0069	6208,8	67,24
Maalattu TW kuusi	18	11	91,32	66	73,56	0,0025	5636,3	61,84

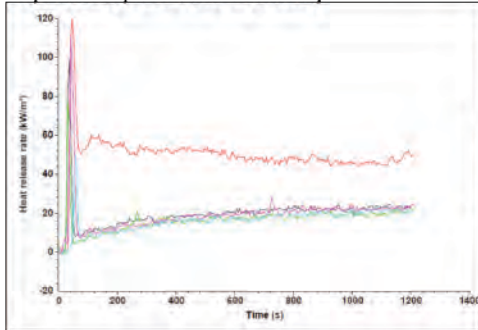
Tuloksista nähdään, että esimerkiksi kokonaislämmöntuotto (THR) on palosuojuilla tuotteilla selvästi alhaisempi. Toinen merkittävä ero näytteiden välillä on lämmönvapautumispiikit (HRR).

Kuvaajat 1–3 havainnollistavat lämmönvapautumista (kW/m²) kartiokalorimetrikokeen aikana. Kuvaajat ovat palosuojaamattoman, palosuoja-aineella kyllästetyn tai maalatun koekappaleen mittaustuloksista. Kuvaajissa on esitettyä yhteensä viiden koekappaleen tulokset.

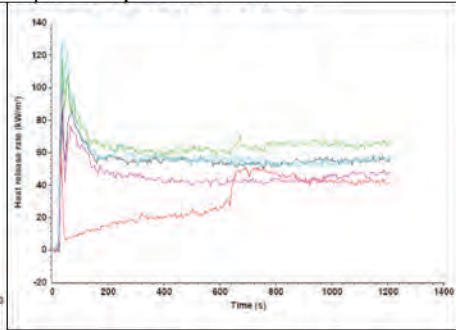


Kuvaaja 1. Käsittelemättömän Thermo-D-männyn ja -kuusen koetuloksia ISO 5660-1 -testistä.

Kyllästetty Thermo-D mänty

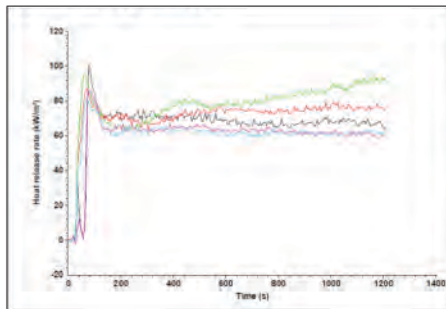


Kyllästetty Thermo-D kuusi

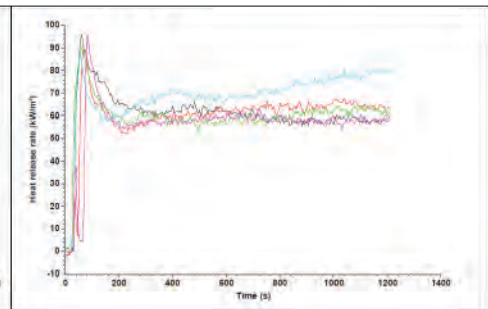


Kuvaaja 2. Palonsuoja-aineella kyllästetyn Thermo-D-männyn ja -kuusen koetuloksia ISO 5660-1 -testistä.

Maalattu TW mänty



Maalattu TW kuusi



Kuvaaja 3. Palonsuoja-aineella maalatun Thermo-D-männyn ja -kuusen koetuloksia ISO 5660-1 -testistä.

Käsittelemättömän Thermo-D-männyn ja -kuusen tulokset ovat hyvin tasaiset keskenään, joten tämän tutkimuksen ISO 5660-1 -tulosten perusteella puulajien välillä ei ole suurta eroa. Kuvaajista 1, 2 ja 3 nähdään kuitenkin hyvin palonsuojaamattoman ja palonsuojatun lämpöpuun välinen ero.

PIENEN LIEKIN POLTTOKOE

EN ISO 11925-2 Pienen liekin polttokokeessa mitataan tuotteen syttymisherkkyyttä, liekin leviämistä tuotteen pinnalla sekä mahdollisesti testin aikana syntyvien palavien pisaroiden ja osien esiintymistä. Kokeessa propaanikaasuliekki kohdistetaan 45 °n kulmassa koekappaleeseen nähden. Testattava tuote altistetaan liekille joko 15 sekunniksi tai 30 sekunniksi. Kokeen kokonaiskesto on 30 sekuntia tai 60 sekuntia. Pienen liekin testissä koekappaleet ovat 90 x 250 mm ja tuotteen paksuus määrää liekin kohdistamisen tuotteen pinnalle tai alareunaan. Pienen liekin polttokoe tehdään standardin EN 13501-1 mukaisesti paloluokissa B, C, D ja E. F-luokassa käyttäytymistä ei määritellä.

PALOSUOJATUN LÄMPÖPUUN SBI-PALONURKKAKOKEET (EN 13823)

Ulkoverhouksissa palo etenee nopeimmin tuuletusraossa. Palon nopea eteneminen johtuu hormivaikutuksesta, ja siksi onkin tärkeää, että SBI-palokokeissa ulkoverhoukseen tarkoitettut tuotteet testataan rimavälin kanssa. SBI-kokeessa on muutenkin tärkeää testata tuote samantyyppisellä asennustavalla kuin se on lopullisessa käyttökohteessa. Myös puulaji ja sen dimensiot vaikuttavat lopullisten tulosten käytettävyyteen, sillä paksummalla dimensiolla saadut tulokset eivät päde ohuemmille tuotteille, mutta toisin päin tuloksia voidaan hyödyntää. Myös eri puulajit tulee testata erikseen. Koemateriaaleja valittaessa onkin tärkeää kirjata ylös testattavien tuotteiden lähtötiedot sekä se, miten kyseiset kappaleet on valmistettu ja valittu testattaviksi.

Varsinaisessa SBI-palokokeessa testataan kahdesta pystysuorasta siivestä koostuvan suorakulmaisen nurkan palo-ominaisuuksia. Testattavasta materiaalista rakennettavien siipien dimensiot ovat $495 \pm 5 \text{ mm} \times 1500 \pm 5 \text{ mm}$ ja $1000 \pm 5 \text{ mm} \times 1500 \pm 5 \text{ mm}$. Koemateriaalit altistetaan propaanikaasupolttimen liekille, jonka lämpöteho on $30,7 \pm 2 \text{ kW}$. Varsinainen palokoe kestää 20 minuuttia, ja sen aikana tutkitaan kappaleista vapautuva lämmöntuotto, liekin leviäminen, savuntuotto sekä putoilevien osien tai pisaroiden esiintyminen. SBI-koe on yksi standardinmukainen menetelmä, jolla määritetään tuotteen paloluokka. Raja-arvot eri paloluokille löytyvät standardista SFS EN 13501-1.

Rakennustarvikkeet jaetaan luokkiin sen perusteella, miten ne vaikuttavat palon syttymiseen ja sen leviämiseen sekä savuntuottoon ja palavaan pisarointiin. Paloluokat:

- **A1** Tarvikkeet, jotka eivät osallistu paloon.
- **A2** Tarvikkeet, joiden osallistuminen paloon on erittäin rajoitettu.
- **B** Tarvikkeet, joiden osallistuminen paloon on hyvin rajoitettu.
- **C** Tarvikkeet, jotka osallistuvat paloon rajoitetusti.
- **D** Tarvikkeet, joiden osallistuminen paloon on hyväksyttävissä.
- **E** Tarvikkeet, joiden käyttäytyminen palossa on hyväksyttävissä.
- **F** Tarvikkeet, joiden käyttäytymistä ei ole määritetty.

Savuntuotto, palavien osien ja pisaroiden esiintyminen:

- **s1** Savuntuotto on erittäin vähäinen.
- **s2** Savuntuotto on vähäinen.
- **s3** Savuntuotto ei täytä aiempien luokkien vaatimuksia.
- **d0** Palavia pisaroita tai osia ei ilmene.
- **d1** Palavat pisarat tai osat sammuvat nopeasti.
- **d2** Palavien pisaroiden tai osien tuotto ei yllä edellisten luokkien vaatimusten tasolle.

Kuvissa 2 ja 3 on esitettyinä esimerkit SBI-polttonurkista (pysty- ja vaaka-asennus).



KUVA 2. SBI-koe: koemateriaalit asennettuna pystyyn (kuvat Edgars Bukšāns).



KUVA 3. SBI-koe: koemateriaalit asennettuna vaakaan (kuvat Edgars Bukšāns).

PALOKÄYTTÄYTYMISEN PITKÄAIKAISKESTO (EN 16755)

Perinteiset palonsuoja-aineet ovat olleet vettä sitovia sekä siihen liukenevia kemikaaleja, ja tämä onkin yksi haaste palosuojatun tuotteen pitkäaikaiskäytössä. Palosuojattujen tuotteiden pitkäaikaiskeston testaamiseksi on laadittu standardin mukaisia testausmenetelmiä. Menetelmissä tutkitaan palosuojattujen tuotteiden käyttäytymistä erilaisissa säärasituskokeissa. Vuonna 2017 hyväksytyssä EN 16755 -standardissa on esitetty menetelmiä sekä vaatimuksia palosuojattujen tuotteiden pitkäaikaiskeston määrittämiselle käyttökohteen mukaisesti (Taulukko 2: luokat INT1, INT2 ja EXT).

TAULUKKO 2. Palokäyttäytymisen pitkäaikaiskeston vaatimuksia sisä- ja ulkokäytössä.

Requirements for DFR Classes of fire-retardant wood products in interior and exterior end use applications

DFR class		Existing fire requirements	Additional performance requirements at different end use of fire retardant wood-based products	
	Intended use	Reaction to fire class, initial	Hygroscopic properties	Reaction to fire performance after weather exposure
INT1	Interior dry applications	Relevant fire class		-
INT2	Interior humid applications	Relevant fire class	<ul style="list-style-type: none"> Moisture content < 28 % No exudation of liquid Minimum visible salt with no increase at surface 	-
EXT	Exterior applications	Relevant fire class	<ul style="list-style-type: none"> Moisture content < 28 % No exudation of liquid Minimum visible salt with no increase at surface 	Maintained reaction to fire claimed performance after <ul style="list-style-type: none"> Accelerated ageing or Natural weathering Application of specified maintenance may be included

Palosuojatun lämpöpuun kosteuskäyttäytyminen voidaan selvittää esimerkiksi NT BUILD 504 -menetelmän mukaisella hygroskooppisuuskokeella. Menetelmässä koekappaleet altistetaan eri olosuhteille olosuhdekaapissa tai -huoneessa. Varsinaisessa kokeessa mitataan palosuojatun tuotteen kosteuspitoisuuden muutokset sekä seurataan silmämääräisesti mahdollisen palonsuoja-aineen kiteytymistä tai tihkumista kappaleen pinnalle.

Palosuojatun lämpöpuun säärasituskokeet voidaan toteuttaa sääkaapissa tai vaihtoehtoisesti luonnollisissa olosuhteissa ulkona. Palokäyttämisen pitkäaikaiskeston tutkimiseen on esitetty muutama sääkaapissa tehtävä säärasituskoe, joissa käytetään joko UV-valoa, sadetta tai molempia. Koekappaleet testataan joko ISO 5660-1:n mukaisesti ennen säärasitusta ja vertaillaan tuloksia säärasitettuihin koekappaleisiin. Tämä menettely on vielä hieman epätarkka pienillä koekappaleilla, ja siksi olisikin hyvä testata palokäyttämistä isommilla koekappaleilla SBI-kokeessa.

LÄHTEET

ISO 5660-1:2015 “Reaction-to-fire tests -- Heat release, smoke production and mass loss rate -- Part 1: Heat release rate (cone calorimeter method) and smoke production rate (dynamic measurement)”.

SFS EN ISO 11925-2 “Reaction to fire tests. Ignitability of products subjected to direct impingement of flame. Part 2: single-flame source test (ISO 11925-2:2010)”.

EN 13823:2010+A1:2014 “Reaction to fire tests for building products. Building products excluding floorings exposed to the thermal attack by a single burning item”.

SFS EN 16755: 2017 “Durability of reaction to fire performance. Classes of fire-retardant treated wood products in interior and exterior end use applications”.

NT BUILD 504 Hygroscopic properties of fire retardant treated wood and wood-based products.

SFS EN 13501-1 “Fire classification of construction products and building elements. Part 1: Classification using data from reaction to fire tests”.

ETELÄ-SAVON MATKAILUN HIILIJALANJÄLKILASKENTA

Riina Tuominen & Sanna Poutamo

Etelä-Savossa laskettiin matkailun alueellinen hiilijalanjälki Kohti vastuullista matkailua -hankkeessa. Laskennassa tarkasteltiin kotimaisten ja ulkomaisten matkailijoiden sekä vapaa-ajan asukkaiden muodostamaa hiilijalanjälkeä. Laskenta perustui pääosin valmiiksi käytettävissä olevaan tilastotietoon. Näin hiilijalanjälkilaskenta on mahdollista toistaa ilman suuria lisäresursseja myös tulevaisuudessa.

MATKAILUN HIILIJALANJÄLJEN OSATEKIJÄT

Etelä-Savon matkailun hiilijalanjälkilaskennassa huomioitiin ne osatekijät, joiden arvioitiin aiempien tutkimusten ja laskentojen pohjalta vaikuttavan hiilijalanjäljen suuruuteen eniten. Laskentaan mukaan otettavat osa-alueet olivat matkustus matkailukohteeseen, majoitus, päivittäinen asiointi, ravitsemispalvelut sekä aktiviteetit (kuva 1). Laskennan osa-alueisiin liittyvät tiedot pyrittiin saamaan suoraan tilastoituna. Mikäli tilastoitua tietoa ei ollut saatavilla, tarvittavan tiedon arviointi tehtiin muihin tietoihin pohjautuen tai käyttäen muissa tutkimuksissa tai laskennoissa tehtyä arviota. (Tuominen & Poutamo 2019)



KUVA 1. Matkailun hiilijalanjälki muodostuu eri osa-alueista (Tuominen 2019, kuvat Shutterstock, kartta Etelä-Savon maakuntaliitto, pohjakartta lupa nro 610/MML/09).

ETELÄ-SAVON MATKAILUN ALUEELLINEN HIILIJALANJÄLKI

Etelä-Savon matkailun alueelliseen hiilijalanjäljen laskentaan käytettiin lähinnä Tilastokeskuksen, Visit Finlandin ja VTT:n tilastoimia tietoja. Laskentaa varten kehitettiin Excel-pohjainen laskuri, jota voidaan hyödyntää myös jatkossa päivittämällä siihen muuttuneet tiedot.

Laskenta tehtiin vuosille 2016 ja 2017. Kokonaisuudessaan hiilijalanjälki vuonna 2017 oli 274 kt CO₂e (taulukko 1). Suurimman osuuden eli noin puolet hiilijalanjäljestä muodosti matkailijoiden ja vapaa-ajan asukkaiden matkustus. Liikenteen hiilijalanjälkeä kasvattavat fossiiliset polttoaineet. Viidenneksen hiilijalanjäljestä muodosti matkailijoiden ja vapaa-ajan asukkaiden majoitus. Päivittäisen asioinnin, aktiviteettien ja ravitsemispalvelujen osuus oli noin kymmenesosa. Matkailijoiden osuus hiilijalanjäljestä oli 69 prosenttia ja vapaa-ajan asukkaiden 31 prosenttia.

TAULUKKO 1. Etelä-Savon alueen matkailun hiilijalanjäljen osatekijöiden suuruus vuonna 2017.

Päästölähde	Hiilijalanjälki, t CO ₂ e
Matkustus kohteeseen, kotimaiset ja ulkomaiset matkajat sekä vapaa-ajan asukkaat	135 537
Matkailijoiden ja vapaa-ajan asukkaiden majoitus	56 088
Matkailijoiden ja vapaa-ajan asukkaiden päivittäinen asiointi	27 600
Matkailijoiden ja vapaa-ajan asukkaiden aktiviteetit	31 373
Matkailijoiden ja vapaa-ajan asukkaiden ravitsemispalvelut	23 340
Yhteensä	273 939

Laskennassa matkustuksen hiilijalanjälki laskettiin päästöperusteisesti ja muut osa-alueet pääosin kustannusperusteisesti, mikä saattaa vaikuttaa osaltaan lopputulokseen. Matkustuksen hiilijalanjälkilaskennassa jouduttiin myös tekemään osa-alueista eniten yleistystä ja arviointia. Käytettyjä päästökertoimia päivitetään suhteellisen harvoin ja osaa tarvittavista tiedoista ei tilastoida vuosittain, joten laskennassa jouduttiin ja joudutaan jatkossakin käyttämään yleistyksiä ja keskimääräisiä arvoja. Laskentaa voidaan kehittää edelleen, jotta muutokset päästöjen määrässä saataisiin paremmin näkyviin ja toimenpiteet pystyttäisiin suuntaamaan niin, että ne pienentävät matkailun hiilijalanjälkeä ja parantavat hiilitehokkuutta.

Valittu laskentatapa ja laskennan rajaukset vaikuttavat laskennan lopputulokseen. Eri tavoin laskettuja hiilijalanjälkiä ei voida varsinaisesti verrata keskenään, mutta ne anta-

vat kokonaiskuvaa tulosten vaihtelusta. Tarkan tilastotiedon puute pakottaa arvioimaan, yleistämään ja oletamaan monia asioita laskennassa, ja saatuun laskentatulokseen tuleekin suhtautua arviona. Se kertoo kuitenkin suuruusluokista ja siitä, mitkä osa-alueet vaikuttavat hiilijalanjälkeen merkittävästi.

Matkailun hiilijalanjälkilaskentaan ei ole olemassa yhtä tiettyä laskentatapaa tai laskentamallia. Laskennassa voidaan hyödyntää ohjeistuksia ja standardeja, mutta jokainen laskentaa tekevä taho päättää itse tapauskohtaisesti, miten laskenta suoritetaan. Laskennassa mukaan otettaviin tietoihin vaikuttaa niiden saatavuus, luotettavuus ja merkittävyys. Juuri laskennan eroavuus tekeekin hiilijalanjälkiverailusta haastavaa.

Matkailun alueellisen hiilijalanjäljen laskentatapojen ja tulosten selvittäminen eri maista ja alueilta osoitti, että laskentaan ei ole olemassa vakiintuneita malleja. Siksi tuloksia on hankala vertailla keskenään. Taulukkoon 2 on koottu eri alueiden matkailun hiilijalanjäljen laskentavuosi, laskettu alueellinen kokonaishiilijalanjälki ja hiilijalanjälki matkailijaa kohti sekä laskennan peruste. Taulukosta nähdään laskentatapojen ja hiilijalanjälkien suuruuksien vaihtelevan suuresti. Etelä-Savon osalta päästöt matkailijaa kohden olivat keskimäärin 120 kg CO₂e ja vapaa-ajan asukasta kohden 425 kg CO₂e. (Lahtinen & Tuominen 2019, Tuominen & Poutamo 2019)

TAULUKKO 2. Eri alueiden hiilijalanjälkilaskentoja (Lahtinen & Tuominen 2019, Tuominen & Poutamo 2019).

Maa	Laskenta- vuosi	Matkailualueen hiilijalanjälki, Mt CO ₂ e	Matkailijan hiili- jalanjälki, kg CO ₂ e/matkailija	Laskennan peruste
Islanti	2015	1,8	1 350	Elinkaari- arviointi
Iso-Britannia	2010	11	418	Kulutus
Montenegro	2016	0,6	321	Yhdistelmä
Ranska	2013	17,5	535	Suorat päästöt
Saksa	2010		12	Energianku- lutus
Alankomaat, Saksa, Tanska	2013	1,5	22	Suorat päästöt
Uusi-Seelanti	2007	1,9/0,7 (kotimainen/ ulkomainen)	45/91 (kotimainen/ulko- mainen)	Suorat päästöt (liikenne ja majoitus)
Kanada	2000	0,95	455	Suorat ja epäsuorat päästöt
Indonesia Yogyakarta	2011		1422/1143 (kotimainen/ulko- mainen)	Kuljetukset, majoitus
Suomi, Etelä-Savo	2017	0,27	120/425 (matkailija/vapaa- ajan asukas)	Yhdistelmä

Etelä-Savon matkailun hiilijalanjalan laskennasta vastaa jatkossa Etelä-Savon maakuntaliitto. Se on linjannut, että hiilijalanjalan laskeminen sisältyy tavoitteeseen kehittää Saimaasta vastuullisen matkailun mallialue. Laskenta on kaavailtu tehtäväksi noin kahden–neljän vuoden välein. (Tuominen & Poutamo 2019)

MATKAILUN HIILIJALANJÄLKEEN VAIKUTTAMINEN

Hiilijalanjälki itsessään on melko vaikeasti ymmärrettävä käsite. Selvittämällä aluksi, mistä osatekijöistä hiilijalanjälki koostuu ja mitkä niiden vaikutukset ovat kokonaishiilijalanjälkeen, siihen voidaan vaikuttaa. Matkustuksen osalta hiilijalanjalan muutoksen seuranta on melko haastavaa. Matkailijoilta on haastattelujen avulla saatu tietoa heidän käyttämistään kulkuvälineistä, mutta osittain tehdyssä laskennassa jouduttiin turvautumaan oletuksiin. Laskennan perusteella voidaan kuitenkin todeta, että mitä kauempaa matkailija saapuu, sitä suuremman hiilijalanjalan matkustus muodostaa.

Tiedotuksen avulla voidaan vaikuttaa ainakin osittain majoituksen, aktiviteettien ja ravitsemispalvelujen hiilijalanjalan. Kaikkien osa-alueiden osalta esimerkiksi energiaa säästävät ja energiatehokkaat ratkaisut pienentävät hiilijalanjälkeä. Vastuu valinnoista on sekä matkailijalla että palvelua tarjoavilla yrityksillä.

Kansainväliset sopimukset ja poliittiset päätökset antavat perustan matkailun hiilijalanjalan pienentämiseen. Päättäjiin vaikuttaminen mahdollisuuksien mukaan sekä matkailualueilla ja yrityksissä tehtävä työ matkailun hiilijalanjalan pienentämiseksi on tärkeää. Ilmastonmuutoksen ja sen hillitsemisen vaatimien toimenpiteiden ennakointi matkailualalla on tarpeellista matkailun kehittämisessä. (Koivula 2019)

Kohti vastuullista matkailua -hankkeen tarkoituksena oli matkailun vastuullisuuden lisääminen Etelä-Savossa ja vastuullisuusviestinnän kehittäminen niin, että siitä saadaan myös kilpailuetua. Lisäksi tarkoituksena oli edistää matkailuyrittäjien ja matkailun sidosryhmien verkostoitumista kansainvälisten vastuullisen matkailun toimijoiden kanssa. Hankkeessa määriteltiin vastuullisen matkailun periaatteita, tuotettiin ohjeistusta vastuullisuusviestintään ja haettiin lisäoppia kansainvälisiltä markkinoilta Etelä-Savon matkailun hiilijalanjälkilaskennan lisäksi. Hanke oli Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulun, Helsingin yliopiston Ruralia-instituutin ja Itä-Suomen yliopiston yhteishanke. Hanke toteutettiin 1.1.2017–31.5.2019, ja sitä rahoitti Etelä-Savon maakuntaliitto Euroopan aluekehitysrastosta (EAKR 2014–2020) sekä hankkeessa mukana olleet yritykset. Lisää hankkeesta ja sen tuloksista voit lukea osoitteessa www.xamk.fi/vastuullinenmatkailu.

LÄHTEET

Koivula, E. 2019. Matkailun hiilijalanjälki suhteessa ilmastonmuutoksen hillinnän tavoitteisiin. Teoksessa Koivula E., Tuominen R. (toim.) Etelä-Savon matkailun hiilijalanjälki. Kohti vastuullista matkailua. Xamk Kehittää 76, Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu.

Lahtinen, M. & Tuominen, R. 2019. Matkailun alueellinen hiilijalanjälki. Teoksessa Koivula E., Tuominen R. (toim.) Etelä-Savon matkailun hiilijalanjälki. Kohti vastuullista matkailua. Xamk Kehittää 76, Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu.

Tuominen, R. 2019. Matkailun hiilijalanjälki. Teoksessa Koivula E., Tuominen R. (toim.) Etelä-Savon matkailun hiilijalanjälki. Kohti vastuullista matkailua. Xamk Kehittää 76, Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu.

Tuominen, R. & Poutamo, S. 2019. Etelä-Savon matkailun alueellinen hiilijalanjälkilaskenta. Teoksessa Koivula E., Tuominen R. (toim.) Etelä-Savon matkailun hiilijalanjälki. Kohti vastuullista matkailua. Xamk Kehittää 76, Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu.

KIERTOTALOUDEN EDISTÄMINEN TUOTANNOLLISISSA PK-YRITYKSISSÄ

Mikko Hokkanen & Kimmo Haapea

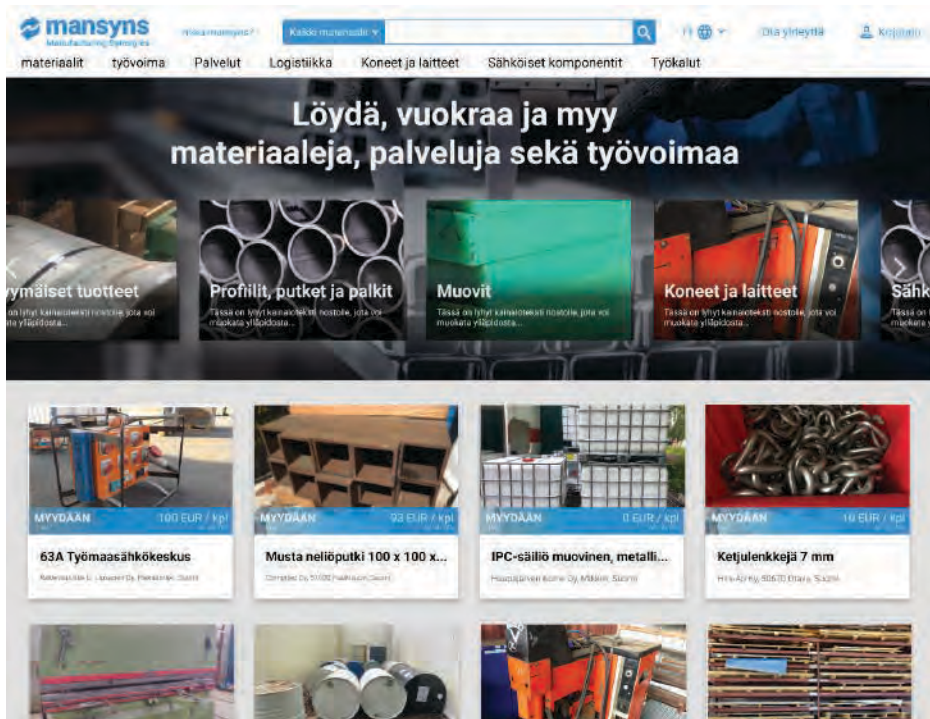
Kiertotalouden keskeisenä haasteena on talouskasvun ja hyvinvoinnin lisääntymisen tapahtuminen resurssien kulutusta lisäämällä, mikä johtaa kestävämpään luonnonvarojen kulutusmalliin (Pantsar-Kallio 2015). Valmistavan teollisuuden näkökulmasta kierron haastaa vanhan toimintamallin pyrkimällä maksimoimaan tuotantoa (koneet, laitteet, komponentit ja osat) sitoutuneen arvon ja materiaalien ekosysteemisen kierron. Tämä tarkoittaa muutosta myös perinteisten arvoketjujen rakenteeseen kierron toimissa sekoittamalla ja yhdistelemällä eri sektorien arvoketjuja, jolloin tuotanto ja materiaalit hyödynnetään osana toisia arvoketjuja. (Kosonen 2015)

KIERTOTALOUS TUOTANNOLLISISSA PK-YRITYKSISSÄ

Kiertotalouden soveltaminen tuotannollisissa yrityksissä etenee yleensä pienin askelin. Aluksi tarkastellaan esimerkiksi tuotannossa käytettäviin materiaaleihin liittyviä toimintoja, kuten varaston kiertonopeutta ja materiaalien virtausta tuotannossa. Yhdessä nämä ovatkin hyviä indikaattoreita tuotannon operatiivisen toiminnan tehokkuudesta ja saattavat osaltaan myös edistää resurssitehokkuuden ja kierron kehitystä. Tuotannollisen toiminnan tavoitteet kierron näkökulmasta kulmineituvat tuotteiden ja palveluiden suunnitteluun. Koska mahdollisimman suuren osan tuotannon ja käytettyjen materiaalien arvosta tulisi kierrättää talouden osana mahdollisimman pitkään, tulee tuotteiden ja palvelujen suunnittelussa huomioida myös nämä näkökulmat. Tuotteiden elinkaaria voidaan pidentää mukautuvuuden, muunneltavuuden ja modulaarisuuden avulla siten, että tuotteiden kehittäminen ja uusiokäyttö mahdollistuvat ilman kokonaan uusien tuotteiden valmistusta. (Sitra 2014) Vanhan toimintamallin mukainen arvoketjujen osien tehokkuustarkastelu johtaa kierron näkökulmasta ei-toivottuihin osapitoihin ratkaisuihin, jolloin esimerkiksi tuoterakenteet eivät tue tuotteiden kehittämistä modulaarisesti. Kiertotalouden huomioivassa suunnittelussa tulisi tarkastella koko ekosysteemiä kokonaisuutena ja hakea tarvittaessa ratkaisuja myös muista ekosysteemeistä tai arvoketjuista, jolloin arvoketjujen eri toimintoja voidaan tehostaa ekosysteemin näkökulmasta kannattavaan suuntaan. (Sitra 2014)

KIERTOTALOUSALUSTA MANSYNS.FI

Kiertotalousalustaa (mansyns.fi, kuva 1) on kehitetty Etelä-Savon maakuntaliiton Euroopan aluekehitysrahastosta rahoittamasta, Mikkelin kehitysyritys Miksei Oy:n, Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulun ja Navitas Kehitys Oy:n toteuttamassa Teknologia-alan arvoketjujen vähähiiliset ratkaisut ja digitaalinen hallinta vienti- ja kansainvälistymisvalmiuksien edistämiseksi -hankkeessa. Alustan ohjelmoinnista ja ylläpidosta ovat vastanneet Metatavu Oy ja Mindhive Oy. Kiertotalousalustan tarkoituksena on edistää, kehittää ja mahdollistaa erityisesti tuotannollisten pk-yritysten kiertotaloustoimintaa ja mahdollistaa kiertotalousalustan tutkimus- ja kehitystyö ketterän alustan avulla.



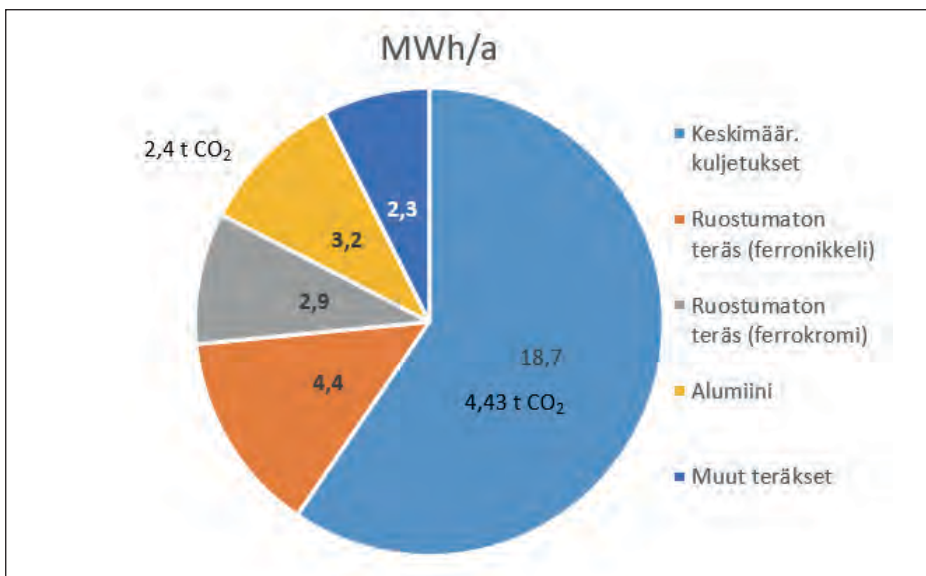
KUVA 1. Kiertotalousalustan mansyns.fi etusivu (Mindhive Oy).

Hankkeen lähtökohtana on ollut erityisesti tuotannollisten pk-yritysten toiminnan kokonaisvaltainen kehittäminen muun muassa kansainvälistymiseen, markkinointiin, laatuun ja operatiivisen toiminnan kehittämiseen keskittyvien työpajojen avulla. Yritysten tarpeita on kartoitettu myös Motivan Teolliset Symbioosit Suomessa (FISS) -toimintamallin avulla. Eri yritykset löysivät hyvin yhteisiä kiertotalouteen liittyviä intressejä muun muassa tuotteiden uudelleenkäytön ja logistiikan alalta, ja yritysten kanssa käydyt jatkokeskustelut toivat esiin tarpeen kehittää yksinkertainen ja helposti lähestyttävä kiertotalouden toiminta-alusta,

jossa yritykset voisivat asettaa ylimääräisiä resursseja (esim. koneita, laitteita, palveluita ja materiaaleja) myyntiin. Toisaalta kansainväliset ja kansalliset tavoitteet tuotannon kehittämisestä vähähiilisemmäksi ja kohti hiilineutraalia tuotantoa kannustivat tarkastelemaan tuotannollisten pk-yritysten hiilijalanjälkeä tarkemmin.

TUOTANNOLLISEN PK-YRITYKSEN HIILI- JA ENERGIATEHOKKUUS

Kuvassa 2 on esitetty yksittäisen tuotannollisen pk-yrityksen vuosittainen tavoite käytetyn energian ja hiilidioksidipäästöjen pienentämiseksi kehitystoimenpiteiden tuloksina. Yrityksen vuotuinen energiansäästö lähtötilanteeseen verrattuna on 31,4 MWh/a, ja hiilidioksidipäästöjen vähennys on 6,83 t/a. Laskelma on esimerkki arvioiduista vaikutuksista, ja todelliseen tulokseen vaikuttavat kuljetusmäärien suhteellisen kehityksen lisäksi käytettävät materiaalit, materiaalien kierrätysaste ja alkuperä sekä kehitystyön suhteellinen vaikutus materiaalien käyttöön.



KUVA 2. Logistiikan ja materiaalien valmistuksen aiheuttama energiankulutus ja CO₂-päästöt.

Laskelmaan sisältyvät kuljetukset on saatu muodostamalla osallistuvien yritysten toiminta-alueesta keskimääräiset kuljetusetäisyydet valmiille tuotteille, komponenteille, osille ja materiaaleille. Raskaan liikenteen keskimääräinen polttoaineenkulutus, polttoaineen energiasisältö, päästökertoimet ja materiaalien valmistukseen käytettävä energia ja tuotetut päästöt kerättiin eri lähteistä (Tilastokeskus 2019, Sipola 2019, Peltola 2015). Laskelman kierrätettävien materiaalien osuus on 30 prosenttia, joten 70 prosenttia materiaaleista on

ns. neutseellisiä, ja niiden valmistukseen käytettävä energia ja tuotetut CO₂-päästöt ovat merkittävästi korkeampia kuin kierrätettyjen materiaalien. Lisäksi esimerkiksi teräksen alkuperä vaikuttaa merkittävästi ns. rautamalmipohjaisten terästen hiilitehokkuuteen, ja laskelmassa on käytetty kotimaisen terästehtaan hiili- ja energiatehokkuuslukuja (SSAB 2019). Tuotannon laaduntuottokyvyn parantumisen vaikutusta hiili- ja energiatehokkuuteen ei ole arvioitu muilta kuin materiaalien kulutuksen osalta, vaikka sillä on merkitystä myös esimerkiksi tuotannon ja kuljetusten määrälliseen kehitykseen.

KIERTOTALOUSALUSTAN JATKOKEHITYS JA JOHTOPÄÄTÖKSET

Kiertotalousalustan jatkokehitys tulee painottumaan jatkossa muun muassa logistiikan parempaan integrointiin osaksi alustaa, jolloin mahdollistetaan esimerkiksi eri käyttäjien logistiikkapalveluiden yhdistelyä välttämällä vajaita ja tyhjiä kuormia. Lisäksi alustan tarjonta voidaan tuoda näkyviin vastaavissa alustoissa (esim. materiaalitori.fi) ja muiden alustojen tarjonta mansyns.fi-alustassa kehitettävien rajapintojen avulla. Rajapinnat mahdollistavat tulevaisuudessa myös integraation yritysten muihin tietojärjestelmiin, jolloin esimerkiksi materiaalien asettaminen myyntiin voi tapahtua suoraan toiminnanohjausjärjestelmästä. Alustan toiminnan analytiikkaa tullaan kehittämään siten, että kehittäjät saavat entistä parempaa palautetta alustassa tapahtuvista interaktioista, kuten erilaisia tilastoja käyttäjien toimista (haetut/löydetyt resurssit, toteutuneet kaupat ym.).

Yritysten operatiivisten toimintojen kehityksen myötä tapahtuva resurssitehokkuuden parantuminen näkyy materiaalisivuvirtojen pienentymisenä, kun yritykset käyttävät tuotannossa vähemmän materiaaleja esimerkiksi parantuneen laaduntuottokyvyn ja tehostuneiden materiaalivirtojen kautta. Tämä kehitys voidaan tulkita myös kiertotalouden heikentymiseksi, mutta kokonaisuutta tarkasteltaessa asia on kuitenkin toisin. Tehokas operatiivinen toiminta ja resurssiviisaus ovat kotimaisen tuotannollisen toiminnan perusedellytyksiä ja mahdollistavat sen jatkumisen kilpailukykyisenä ja kannattavana.

LÄHTEET

Kosonen, Mikko. Kiertotalous mahdollistaa kestäväen kasvun. 13.1.2015. https://www.slideshare.net/SitraEkologia/mikko-kosonen-kiertotalous-mahdollistaa-kestavn-kasvun-43459016?qid=5cd43b38-afc4-48fc-bf69-43e88ce37c7c&v=&b=&from_search=1 (haettu 4.11.2019).

Pantsar-Kallio, Mari. Miten Suomi siirtyy kiertotalouteen? 13.1.2015. https://www.slideshare.net/SitraEkologia/mari-pantsarkallio?qid=fb13423c-973c-489c-8729-0ccc087eefc&v=&b=&from_search=6 (haettu 4.11.2019).

Peltola, Vesa. Tavaraliikenne ETS vuosiraportti 2014 v27052015. 3 2015. https://arkisto.trafi.fi/filebank/a/1432752490/459d88d3bf2826ddb43f52ab4a156903/17615-Trafin_julkaisuja_05-2015_-_Tavaraliikenteen_energiatehokkuussopimus_-_vuosiraportti.pdf (haettu 5.11.2019).

Sipola, Timo. Ruotsissa testataan ratkaisua, joka mullistaisi yhteiskunnan ja romauttaisi päästöt – ja idea voi tulla käyttöön ensimmäisenä Suomessa, Yle Uutiset. 8.9.2019. <https://yle.fi/uutiset/3-10942131> (haettu 5.11.2019).

Sitra. Sitran selvityksiä 84. Toimittanut Mari Pantsar-Kallio. Helsinki: Libris, 2014.

SSAB. Hiilidioksiditehokkuus - SSAB. 2019. <https://www.ssab.fi/ssab-konserni/kestava-kehitys/kestavat-toiminnot/hiilidioksiditehokkuus-ssablla> (haettu 5.11.2019).

Tilastokeskus. ”Polttoaineluokitus 2019.” 14.2.2019. http://www.stat.fi/tup/khkinv/kh-kaasut_polttoaineluokitus.html (haettu 5.11.2019).

PUUSTA MAITOA? MIKROKITEINEN SELLULOOSA ENSIKERTAA LYPSELEHMIEN REHUNA

Outi Savonen & Piia Kairenius & Päivi Mäntysaari & Tomasz Stefanski & Juhana Pakkasmaa & Marketta Rinne

Mikrokiteisen selluloosan (MCC) käyttöä tutkittiin ensimmäistä kertaa osana lypsylehmien ruokintaa Luonnonvarakeskuksen (Luken) ja Xamkin Kuitulaboratorion yhteistyönä.

Uusiutuvista hiilihydraattien lähteistä maailmanlaajuisesti yleisin on selluloosa. Se muodostaa yhdessä hemiselluloosan kanssa märehitjoiden rehujen pääkomponentit. Märehitjoiden pääasiallisena selluloosan lähteenä ovat nurmikasvit (Van Soest 1994), mutta Euroopan unionin rehuainerekisterin mukaan myös puuta ja puupohjaisia rehuja voidaan käyttää märehitjoiden ruokinnassa. Selluloosa koostuu β -D-glukoosiyksiköistä, jotka muodostavat sekä järjestäytyneitä eli kiteisiä alueita sekä vähemmän järjestäytyneitä amorfisia alueita. Mikrokiteinen selluloosa MCC on β -selluloosan kiteiseltä alueelta eristetty kuidun osa (Habibi ym. 2010). Sen valmistus happohydrolyysillä keksittiin jo 1950-luvulla (Battista 1950). Aalto-yliopisto on kehittänyt ja patentoinut taloudellisen ja ympäristöystävällisen menetelmän tuottaa MCC:tä (Aalto CellTM) (Dahl ym. 2011a, 2011b).

MCC:llä on useita ominaisuuksia, jotka mahdollistavat sen monipuolisen käytön (Habibi ym. 2010). MCC on muun muassa kemiallisesti passiivinen ja fysiologisesti inertti. Kiinnostus MCC:tä kohtaan on lisääntynyt sen ihmisten ruoansulatukseen liittyvien positiivisten vaikutusten vuoksi (Nsor-Atindana ym. 2017). Märehitjoiden ruoansulatus eroaa kuitenkin yksimahaisten ruoansulatuksesta. Pötsifermentaatioissa pötsimikrobien tuottamat entsyymit sulattavat soluseinähiilihydraatteja hemiselluloosaa ja selluloosaa, joita ruoansulatuskanavan muut entsyymit eivät pysty sulattamaan. Lopputuotteina muodostuu haihtuvia rasvahappoja ja mikrobivalkuaista märehitjoiden energian ja valkuaisen lähteiksi (Van Soest 1994). Märehitjätäkään eivät pysty sulattamaan ligniiniä, joten sen sidokset hemiselluloosan ja selluloosan kanssa kasvisolujen seinämissä heikentävät pötsimikrobien hiilihydraattien sulatusta (Ding ym. 2012). Soluseinän ligniinin ja hemiselluloosan poistaminen parantaa selluloosan sulavuutta (Van Soest 1994). Paperinvalmistuksessa käytetyn selluloosan onkin havaittu olevan paremmin sulavaa kuin märehitjille tyypillisten rehujen sisältämän selluloosan (Saarinen ym. 1959).

MCC:n vaikutuksista yksimahaisten eläinten terveyteen ja tuotokseen on vain vähän tutkittua tietoa (Wu ym. 2016), ja märehtijöiden ravintoaineena MCC:tä ei ole aiemmin tutkittu. Pötsin olosuhteita keinotekoisesti jäljittelevissä *in vitro* -kokeissa (Stefański ym. 2018) pötsimikrobit hajottivat MCC:n suhteellisen helposti, mikä indikoi sen soveltuvan märehtijöiden rehuosaksi.

MCC-REHU LEHMIEN RUOKINTAKOKEESEEN LUKESSA VALMISTETTIIN XAMKIN KUITULABORATORIOSSA SAVONLINNASSA

Luken Jokioisten navetalla tehtiin keväällä 2018 ruokintakoe, jossa selvitettiin MCC:n vaikutuksia lypsylehmiä syötiin, pötsifermentaatioon, rehun sulatukseen ja maidontuotantoon. MCC:tä lisättiin dieettiin 0, 10 ja 100 g/kg kuiva-ainetta korvaamaan ohraa (kuvio 1). Oletuksena oli, että ohran tärkeilyn korvaaminen MCC:n sulavalla kuidulla voisi tasoittaa pötsin olosuhteita. Maidontuotanto ei vähentyisi MCC:tä sisältävillä dieeteillä verrattuna kontrolliruokintaan, sillä lisääntynyt syönti ja tehostunut kuidun sulatus kompensoisivat dieetin lisääntynyttä kuitupitoisuutta.

MCC valmistettiin käyttämällä AaltoCell™-valmistusmenetelmää (Dahl ym. 2011a, 2011b) XAMKin kuitulaboratoriossa. Raaka-aineena oli valkaisuaine, joka otettiin massanvalmistuslinjasta ennen valkaisuainetta. Massa tehtiin happamaksi 8 prosentin kuiva-aineessa pH-arvoon 1,8 ja hydrolysoitiin jatkuvatoimisella keittimellä 165 °C:n lämpötilassa reaktioajan ollessa 30 minuuttia. Saatua MCC pestiin siten, että suodoksen pH oli 3,5 ja suodos sakeutettiin suotonauhapesurilla 27 prosentin kuiva-aineeseen.

Ruokintakokeeseen valittiin kostea MCC (kuva 1) tuotantoprosessin nopeuttamiseksi, tuotantokustannusten vähentämiseksi ja poissulkemaan kuivaamisen mahdollisesti aiheuttamat MCC:n toiminnallisten ominaisuuksien muutokset. Mitään pilaantumisen merkkejä ei kosteassa MCC:ssä havaittu ruokintakokeen aikana. Se myös sekoittui hyvin muiden rehuosien kanssa, eivätkä lehmät erotelleet sitä syödessään.

Ruokintakokeessa oli 24 useamman kerran poikinutta ayrshirerotuista lypsylehmää. Eläinten käyttö tieteellisessä kokeessa oli direktiivin 2010/63/EU mukainen. Lehmät olivat pihattonavetassa, jossa ne pääsivät liikkumaan vapaasti. Jokaisella lehmällä oli kaulassaan transponderi, jonka avulla lehmät pääsivät syömään vain omasta paikastaan ruokintapöydältä (kuva 2). Tällä tekniikalla niiden yksilöllinen rehuosien käyttö pystyttiin määrittämään. Lehmät lypsettiin lypsiasemalla kahdesti päivässä. Koelehmät jaettiin neljään kuuden lehmän blokkiin poikimäkerran ja poikimäpäivän mukaan. Kuusi koelehmää oli varustettu pötsiavanteilla pötsinesteen keräämistä varten. Koemalli oli epätäydellinen 3 × 2 -malli (Change over design), jossa ruokintajakson pituus oli 21 päivää ja mittaukset tehtiin jakson viimeisellä viikolla.



KUVA 1. Valkaisemattomasta havupuusellusta valmistettu kostea (kuiva-ainepitoisuus 27 %) mikrokiteinen selluloosa oli helposti muovautuvaa (kuva Marketta Rinne).



KUVA 2. Koelehmä Luke Jokioisten pihattonavetassa. Lehmien kaulassa olevan transponderin avulla ne pääsivät syömään vain kullekin lehmälle identifioidusta paikasta ruokintapöydältä. Näin yksilölliset syöntimäärät voitiin mitata (kuva Marketta Rinne).

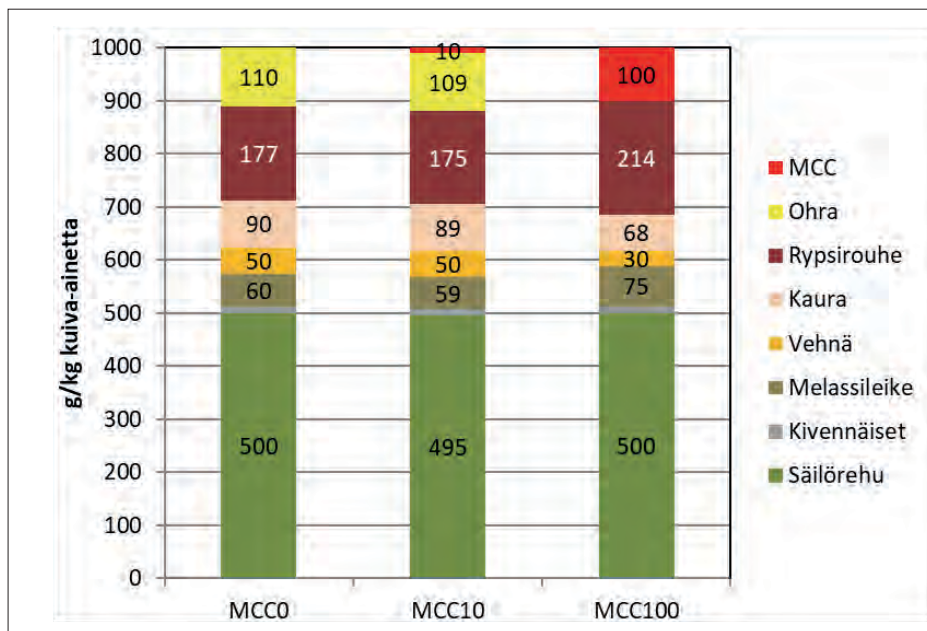
VÄKIREHUNA KÄYTETTYÄ OHRAA KORVATTIIN MCC:LLÄ KAHDELLA TASOLLA

Lehmät ruokittiin seosrehulla, jossa säilörehu ja väkirehukomponentit sekoitettiin toisiinsa. Kontrolli (CON) ja 10 g/kg ka -ryhmät (MCCL) söivät samaa seosrehua, jossa oli säilörehua ja väkirehuseosta 50:50 kuiva-aineesta. Seosrehu jaettiin koelehmille ruokintavaunulla neljä kertaa päivässä. MCCL-ruokinnalla MCC annosteltiin ja sekoitettiin aamulla ja illalla seosrehun päälle (top dressing) (kuva 3). Sen sijaan 100 g/kg ka -ryhmä (MCCH) sai seosrehua, jossa oli säilörehua, väkirehua ja MCC:tä 50:40:10 ka:sta (kuvio 1). MCCH-rehuseos jaettiin koelehmille ruokintavaunulla neljä kertaa päivässä. Rehua annettiin niin paljon, että tähdettä jäi päivittäin vähintään 5 prosenttia varmistamaan vapaa rehun saanti. Seosrehun lisäksi lehmät saivat lypsyasemalla 0,6 kg väkirehua.



KUVA 3. Kun mikrokiteisen selluloosan osuus oli 10 g/kg dieetin kuiva-ainetta, se sekoitettiin käsin seosrehun päälle kahdesti päivässä (kuva Outi Savonen).

Kokeessa käytetty esikuivattu säilörehu sisälsi timoteitä (*Phleum pratense*) ja nurminataa (*Festuca pratensis*), ja se säilöttiin muurahaishappopohjaisella säilöntäaineella (AIV 2 Plus; Eastman Oy, Oulu, Suomi). MCC korvasi väkirehuseoksessa ohraa. Koeruokintojen valkuaispitoisuus tasattiin yhtä suureksi muuttamalla rypsirouhkan määrää. Rehut analysoitiin standardimenetelmin (ks. Kuoppala ym. 2008).

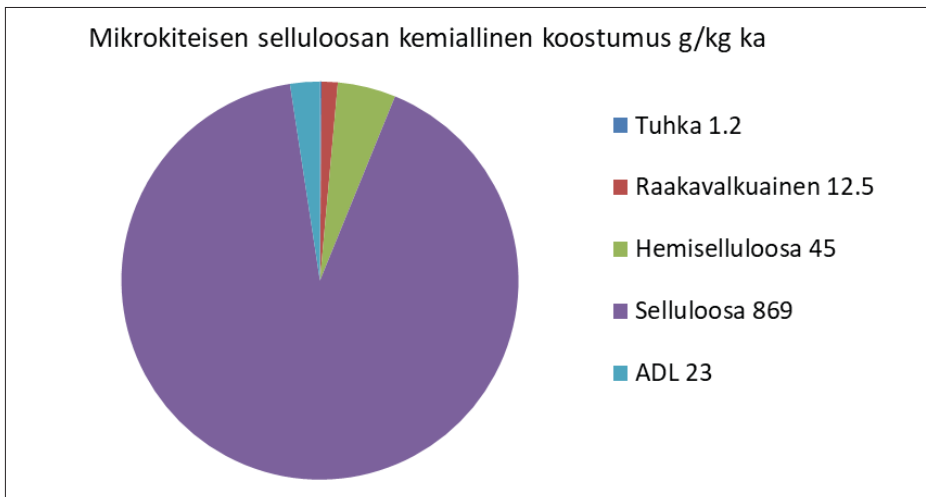


KUVIO 1. Lypsylehmien seosrehujen koostumukset (g/kg kuiva-ainetta (ka)) ruokinnolla MCC0, MCC10 ja MCC100, jotka sisälsivät 0, 10 ja 100 g/kg ka mikrokiteistä selluloosaa.

RUNSAASTA SYÖNNISTÄ HUOLIMATTA MCC LASKI MAITOTUOTOSTA

MCC:n käyttömäärät olivat kokeessa suhteellisen pienet, sillä MCC:tä ei kirjoittajien tiedon mukaan ole aikaisemmin käytetty lypsylehmien rehuna. Mitään MCC:stä johtuvia haitallisia vaikutuksia syönniin, ruoansulatukseen, tuotokseen tai käyttäytymiseen ei kokeen aikana havaittu.

MCC sisälsi runsaasti neutraalidetergenttikuitua (NDF), mutta kivennäisaineita (tuhkaa) ja raakavalkuaista (typpeä) siinä ei ollut käytännössä lainkaan (kuvio 2). MCC oli hyvin maittavaa, ja lehmät söivät seosrehuja runsaasti (taulukko 1). Syönnissä ei ollut eroja koeruokintojen välillä, mutta numeerisesti suurin syönti oli MCCH-ruokinnalla. Lehmien NDF:n saanti lisääntyi lineaarisesti MCC:n osuuden lisääntyessä. Sen sijaan raakavalkuaisen saannissa ei ollut eroja ryhmien välillä, sillä koeruokintojen valkuaispitoisuudet säädettiin saman suuruisiksi.



KUVIO 2. Märehtijöiden rehuanalyysissä käytetyillä menetelmillä analysoituna mikrokiteinen selluloosa (MCC) koostui pääasiassa selluloosasta, mutta sisälsi jonkun verran hemiselluloosaa ja ligniiniä (ADL).

Dieetin ka:n tai orgaanisen aineen sulavuuteen MCC ei vaikuttanut, mutta raakavalkuaisen sulavuus heikkeni. NDF:n sulavuus parani selvästi MCC:n osuuden lisääntyessä dieetissä (taulukko 1). MCC:n ruokinnalla olleiden lehmien suuret syöntimäärät liittyvät oletettavasti osittain MCC:n hyvään sulavuuteen. Selluloosapolymeerien muodostamat kiteet ovat hyvin tiiviisti vetysidoksilla pakkautuneet, mikä vaikeuttaa pötsimikrobien erittämien, kuitua hajottavien entsyymien kiinnittymisen partikkelin pintaan (Kerley ym. 1988). Luultavasti MCC:n pieni partikkelikoko on kuitenkin lisännyt pötsimikrobien käytettävissä olevaa pinta-alaa ja parantanut sen sulavuutta märehtijöillä samoin kuin selluloosan ja ligniinin välisten sidosten pilkkoutuminen MCC:n tuotantoprosessissa. Nämä seikat selittäisivät myös MCC:n korkeita *in vitro* -sulavuustuloksia (Stefanski ym. 2018).

Eläimillä määritettyjen *in vivo* -sulavuustulosten perusteella MCC:n valmistusprosessi on hyvin tehokas menetelmä puupohjaisen rehumateriaalin sulavuuden parantamisessa verrattuna muun muassa laimeaan happohydrolyysiin (Butterbaugh & Johnson 1974) ja sulfiittikäsittelyyn (Millett ym. 1973). Puun käsittely voimakkaalla hapolla on johtanut rehuaineksen ligniinipitoisuuden lisääntymiseen ja edelleen maittavuuden ja sulavuuden heikkenemiseen (Butterbaugh & Johnson 1974). Sulavuustulokset MCC:n ja muiden puupohjaisten rehuainesten välillä eivät kuitenkaan ole suoraan verrattavissa, sillä MCC:ssä on vain vähän kemiallisille, biologisille ja mekaanisille käsittelyille alttiimpaa amorfista selluloosaa (Vanhatalo 2017).

Maidontuotanto perustuu usein suhteellisen runsaaseen tärkkelyspitoisten väkirehujen käyttöön johtuen niiden edullisesta hinnasta ja karkearehun niukkuudesta tiloilla. Piilevä hapan

pötsi on lehmien ruoansulatussairaus, jonka syynä on runsas väkirehun ja niukka kuidun saanti. Liian matala pötsin pH estää kuitua hajottavien mikrobien kasvua ja toimintaa, jolloin kuidun sulatus pötsissä, märehtiminen ja pH:n liiallista laskua puskuroivan syljen erityis heikkenevät (Krause & Oezel 2006). Oletimme tarkkelyspitoisen ohran korvaamisen MCC:n sulavalla kuidulla tasaavan pötsin olosuhteita. Pötsinestenyttöiden perusteella näin ei kuitenkaan tapahtunut. Tähän saattoi olla syynä MCC:n pieni partikkelikoko: jotta kuitupitoisilla rehuilla olisi pötsin olosuhteita tasapainottava vaikutus, pitäisi kuitupartikkelien olla riittävän pitkiä lisätäkseen märehtimistä. Myös kokeen ruokintaratkaisut, kuten seosrehun käyttö sekä suhteellisen matala karkearehu–väkirehu-suhde (0,50:0,50) saattoivat jo itsessään estää pötsin pH:n laskun.

Erot maidontuotantotuloksissa koeryhmien välillä olivat pieniä (taulukko 1). MCC:n lisääminen dieettiin vähensi energiakorjatun maidon (EKM), maitorasvan sekä valkuaisen tuotosta. Maidon valkuaisen ja urean pitoisuudet pienenevät lineaarisesti. Rehun energia-arvo voidaan laskea sulavuuden perusteella (Luke 2019), ja lehmien energian saanti on selvässä yhteydessä maitotuotokseen (Huhtanen & Nousiainen 2012). Tässä tutkimuksessa lehmien energian saanti lisääntyi MCC:n osuuden lisääntyessä, mutta maitotuotos ei kuitenkaan lisääntynyt. Myös rehuhyötysuhde huononi MCC-lisäyksen seurauksena.

TAULUKKO 1. Lypsylehmien syönti-, sulavuus- ja maidontuotantotuloksia ruokinnoilla, jotka sisälsivät mikrokiteistä selluloosaa (MCC).

	MCC:n osuus dieetissä, g/ kg kuiva-ainetta (ka)				Merkitsevyys
	0	10	100	SEM ¹	
Syönti, kg ka/päivä					
Yhteensä	25,4	25,2	26,0	0,43	0,197
Säilörehu	12,4	12,2	12,8	0,22	0,139
Väkirehu	12,9	12,7	10,7	0,19	<0,001
Sulavuus					
Orgaaninen aine	0,721		0,717	0,0028	0,383
Neutraalidetergenttikuitu	0,603		0,669	0,0056	<0,001
Tuotos, kg/päivä					
Maito	34,7	35,6	34,7	0,40	0,074
Energiakorjattu maito	36,8	36,6	35,3	0,4	0,024
Rasva	1,50	1,50	1,44	0,020	0,039
Valkuainen	1,29	1,29	1,23	0,015	0,008
Laktoosi	1,58	1,55	1,52	0,020	0,094

¹ Keskiarvon keskivirhe

MCC:n mahdollinen rehukäyttö riippuu sen tuotantokustannuksista tavanomaisiin rehuihin verrattuna. Sen mahdollinen pötsiolosuhteita tasaava vaikutus pitäisi tutkia tätä tutkimusta haastavammassa ruokintaolosuhteissa. MCC:n etuna on se, että märehitjoiden rehupohjaa voidaan laajentaa puusta peräisin oleviin ihmisravinnoksi kelpaamattomiin materiaaleihin. Lisäksi se ei sisällä juurikaan tyypeä eikä fosforia, joten se sopii rehuannoksen laimentamiseen näiden ravinteiden osalta, jos rehuannos muuten sisältää niitä tarpeettoman paljon. Näin voidaan tehostaa ravinteiden hyväksikäyttöä ruokinnassa.

MCC SOVELTUI REHUKÄYTTÖÖN, MUTTA LISÄTIETOA TARVITAAN

Ruokintakokeen tulokset osoittivat, että MCC maistui lehmille eikä aiheuttanut ruoansulatusongelmia. Se kuitenkin vähensi maitotuotosta, mutta ero kontrolliruokintaan oli pieni. MCC:n käytön mahdollisia etuja pötsifermentaatioon ei voitu osoittaa käytetyillä koeruokinnoilla. Haastavammassa ruokintatilanteessa, jossa pötsin pH olisi laskenut matalammaksi, mahdolliset edut pötsin toimintaan olisivat saattaneet tulla paremmin esille. Jotta MCC:n vaikutuksista lypsylehmien rehuna saataisiin lisää tietoa, tulevaisuudessa sen käyttömääriä pitäisi lisätä. Myös pötsisulatusta pitäisi selvittää yksityiskohtaisemmin.

LÄHTEET

Battista, O.A. 1950. Hydrolysis of crystallization of cellulose. *Industrial & Engineering Chemistry* 42: 502–507.

Butterbaugh J.W. & Johanson, R.R. 1974. Nutritive value of acid hydrolysed wood residue in ruminant rations. *Journal of Animal Science* 38: 394–403.

Dahl, O., Vanhatalo, K. & Parviainen, K. 2011a. A novel method to produce microcellulose. FI patent 2011050526.

Dahl, O., Vanhatalo, K., Parviainen, K. & Svedman, M. 2011b. A novel method to produce microcellulose. FI patent 2011050527.

Ding, S.Y., Liu, Y.S., Zeng, Y.N., Himmel, M.E., Baker, J.O. & Bayer, E.A. 2012. How does plant cell wall nanoscale architecture correlate with enzymatic digestibility? *Science* 338: 1055–1060.

EU-direktiivi 2010/63/EU. Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi tieteellisiin tarkoituksiin käytettävien eläinten suojelusta (EUVL L 276, 20.10.2010).

Habibi, Y., Lucian, A. & Rojas, O.J. 2010. Cellulose nanocrystals: Chemistry, self-assembly and applications. *Chemical Reviews* 110: 3479–3500.

Huhtanen, P. & Nousiainen, J. 2012. Production responses of lactating dairy cows fed silage-based diets to changes in nutrient supply. *Livestock Science* 148: 146–58.

Kerley, M.S., Fahey, Jr., G.C., Gould, M.J. & Iannotti, E.L. 1988. Effects of lignification, cellulose crystallinity and enzyme assessable space on digestibility of plant cell wall carbohydrates by the ruminant. *Food Structure* 7: 59–65.

Krause, K.M. & Oetzel, R.G. 2006. Understanding and preventing subacute ruminal acidosis in dairy herds: A review. *Animal Feed Science and Technology* 126: 215–236.

Kuoppala, K., Rinne, M., Nousiainen, J. & Huhtanen, P. 2008. The effect of cutting time of grass silage in primary growth and regrowth and the interactions between silage quality and concentrate level on milk production of dairy cows. *Livestock Science* 116: 171–182.

Luke, 2019. Feed tables and nutrient requirements. www.luke.fi/feedtables. Viitattu 26.8.2019.

Millett, M.A., Baker, A.J., Satter, L.D., McGovern, J.N. & Dinius, D.A. 1973. Pulp and papermaking residues as feedstuff for ruminants. *Journal of Animal Science* 37: 599–607.

Nsor-Atindana, J., Chen, M., Goff, H. D., Zhong, F., Sharif, H. R. & Li, Y. 2017. Functionality and nutritional aspects of microcrystalline cellulose in food. *Carbohydrate Polymers* 172: 159–174.

Saarinen, P., Jensen, W. & Alhojärvi, J. 1959. On the digestibility of high yield chemical pulp and its evaluation. *Acta Agriculturae Fenniae* 94: 41–64.

Stefański, T., Välimaa, A.-L., Kuoppala, K., Jalava, T., Paananen, P. & Rinne, M. 2018. In vitro ruminal degradation rate and methane production of different fraction of microcrystalline cellulose (MCC). In: *Proceedings of the 9th Nordic Feed Science Conference*. Uppsala, Sweden. p. 87–93. https://www.slu.se/globalassets/ew/org/inst/huv/nfsc/nfsc2018/nfsc-2018_proceedings_corr_e-version.pdf.

Vanhatalo, K. 2017. A new manufacturing process for microcrystalline cellulose (MCC). Aalto University publication series, Doctoral dissertations 152/2017. 172 p.

Van Soest, P.J. 1994. *Nutritional Ecology of the Ruminant*. 2nd ed. New York: Cornell University Press. 476 p.

Wu, W., Xie, J. & Zhang, H. 2016. Dietary fibres influence the intestinal SCFAs and plasma metabolites profiling in growing pigs. *Food & Function* 7: 4644–4654.

ULTRASUODATUS JA -PROSESSIN JATKUVATOIMINEN MONITOROINTI

Kari Kärkkäinen & Tatu Kauppi & Arttu Lehtinen

Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulun BOKASVU-projektissa on tutkittu alustavasti prosessinesteiden ja biotuotteiden, kuten hemiselluloosauutteen, jatkokäsittelymahdollisuuksia ultrasuodatuslaitteistolla. Jatkokäsittelyn rinnalla on tutkittu yrityslähtöisen IIoT-alustan hyödyntämistä prosessin seurannassa, johon on kehitetty oma sovellus ultrasuodatuksen jatkuvatoimiseen seurantaan. Sovelluksessa on käytetty langatonta tiedonsiirtotekniikkaa, jossa kenttälaitteen mittaama mittausdata siirretään langattomana 3G-tiedonsiirtona pilvipalveluun ja sieltä edelleen OPC UA -protokollan kautta Kuitulaboratoriolle modifioituun uuteen ANDRITZ Metris IIoT -tiedonkäsittelyalustaan. Biotuotteiden ultrasuodatuskokeiden tavoitteena on kehittää kasvukosysteemin yrityksille tarjottavaa palveluliiketoimintaa ja luoda parhaimmillaan talousalueelle kokonaan uusia liiketoimintamahdollisuuksia.

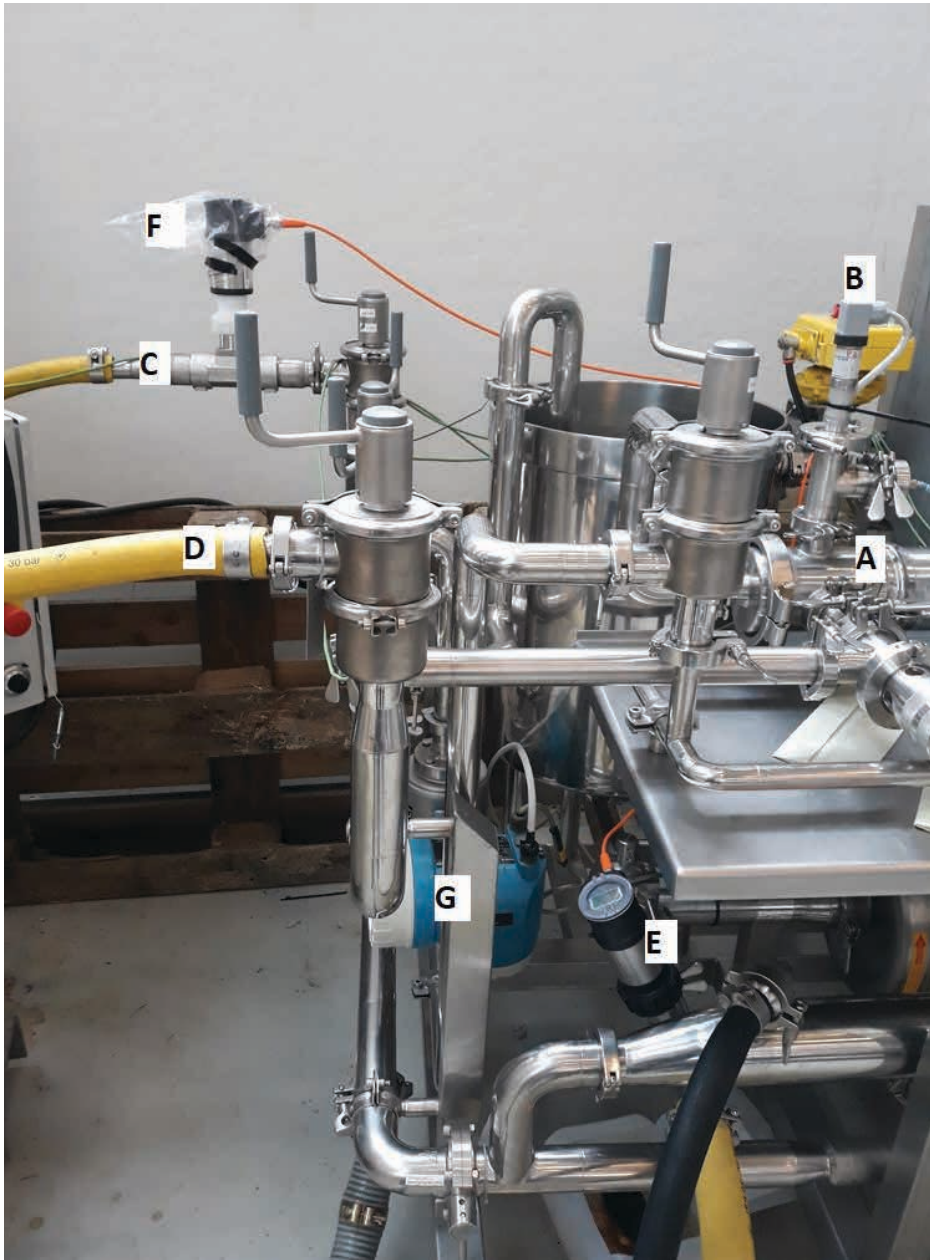
ULTRASUODATUSLAITTEISTO

Koeajossa käytetty suodatuslaitteistokokonaisuus koostettiin kolmesta eri laitteistosta: prosessinesteen lämmityssäiliöstä, ultrasuodatuslaitteistosta sekä datankeruuyksiköstä. Lämmityssäiliön tilavuus oli noin 400 litraa, joka riittää hyvin suurienkin nestemäärien koeajoihin. Säiliön lämmitysnopeus oli noin 20 °C/h, ja sillä pystytään lämmittämään kierrätettävä neste yli 80-asteiseksi. Säiliössä oli myös sekoitusmahdollisuus, mutta se todettiin tarpeettomaksi suurten virtausten sekoittaessa suodatettavaa nestettä riittävän hyvin. Biomassaa kierrätettiin syöttösäiliön pohjassa olevan venttiilillä varustetun yhteen kautta suodatuslaitteistolle. Ultrasuodatuksen jälkeinen suodos (permeaatti) ja kiertoon palaava suodattamaton liuos (retentaatti) oli mahdollista ohjata takaisin syöttösäiliöön kuvan 1 mukaisesti tai kerätä kumpaa tahansa erikseen. Säiliössä olevasta kierrätettävästä biomassasta mitattiin lämpötila K-tyypin lämpötila-anturin avulla.



KUVA 1. Ultrasuodatuslaitteisto kokonaisuudessaan. Vasemmalla lämmitettävä prosessiliuoksen syöttösäiliö ja oikealla suodatuslaitteisto (kuva Kari Kärkkäinen).

Varsinaisen ultrasuodatuslaitteiston mallinimi oli Alfa Laval PilotUnit Combi M39/M3.8. Laitteisto sisälsi kolme pumppua (1 sentrifugipumppu + 2 paineenkorotuspumppua), virtausmittarit syötteelle ja permeaatille, 3838-kokoluokan ultrasuodatuksen spiraalimoduulin sekä analogisia painemittareita. Lisäksi laitteistossa oli 100 µm:n esisuodatussihti ensimmäisen pumpun jälkeen. Laitteiston monipuoliset liitännät mahdollistivat lämmityssäiliön liittämisen suoraan suodatuslaitteistoon sekä permeaatin ja retentaatin virtauksen ohjaamisen takaisin säiliöön (kuva 2).



KUVA 2. Ultrasuodatuslaitteen spiraalimoduulin loppupää (A), paineanturi (B) mittaa retentaatin painetta, suodos eli permeaatti (C), retentaatti eli suodattamaton palaava liuos (D), syötteen johtokyky mittaus (E), permeaatin johtokyky mittaus (F) ja permeaatin virtauspumppu (G) (kuva Kari Kärkkäinen).

ULTRASUODATUKSEN IIOT-MITTAUKSET

Suodatuskokeissa käytetty vakiomallin laitteisto vaati hieman muokkaamista ultrasuodatuksen tarvittavaa IIOT-sovellusta ja tiedonkeruuta varten. Laitteistoon lisättiin kaikkiaan kahdeksan K-tyyppin lämpötila-anturia, jolloin lämpötilojen muutosta prosessin eri vaiheissa voitiin tarkkailla. Spiraalimoduulin analogiset painemittarit vaihdettiin digitaalisiin paineantureihin. Laitteiston permeaatin sekä syötteen virtausmittarien analogilähdöt liitettiin kaapeloimalla mittauskaappiin. Lisäksi laitteistoon lisättiin kaksi johtokykymittaria, joista toinen tulevalle syötteelle ja toinen permeaatille. Kaikki mittaustiedot kytkettiin Xamk Siemens IIOT-kaappiin 4–20 mA:n analogiatuloilla ja tiedot skaalattiin oikealle mittausalueelle (kuva 3).



KUVA 3. Oikealla Xamkin tiedonkeruulaite (A), jonka päällä vasemmalla näkyy 3G-antenni. Suodatuslaitteiston päällä on kannettava tietokone (B), jossa on näkyvillä kaikki mitatut mittaustiedot toteutettuna langattomilla tiedonsiirtoyhteyksillä Xamkin koelaitteesta ANDRITZ Metris IIOT-järjestelmään (kuva Kari Kärkkäinen).

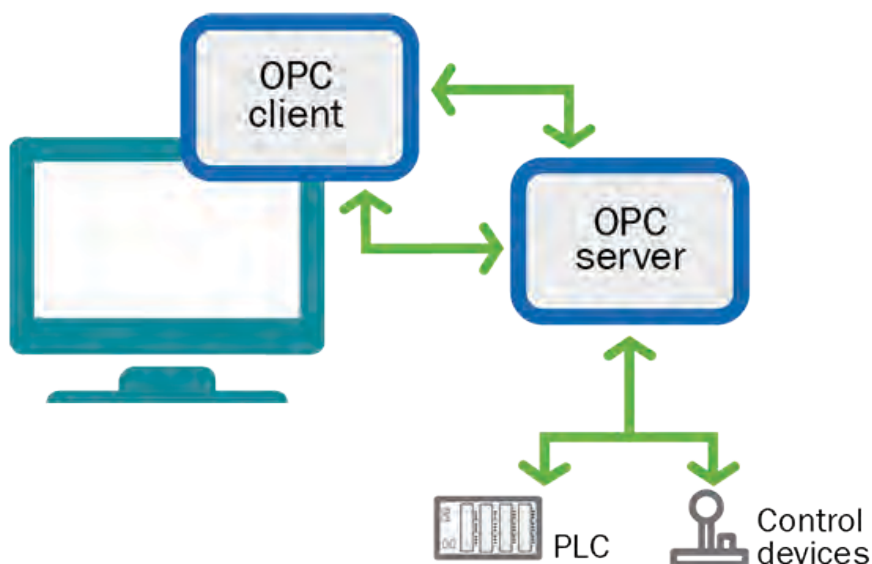
Mittauksissa käytettiin hankkeessa valmistettua mittausyksikköä, jota tarvitaan tulevaisuudessa erilaisiin kasvukosysteemin hajautettuihin koe- ja pilot-mittauksiin. Mittausyksikölle annettiin nimi XAMKiBOX. Kaapin mittaustekniikka on toteutettu Siemens S7-1200-logiikalla (Mikro PLC SIMATIC HMI, jossa on touch screen -näyttö) ja siihen liittyvillä IO-mittausteknologiamoduuleilla. Logiikkaan tehtiin analogiamittauksiin ja itse ultrasuodatuksen tarkoitettu mittaussovellus. XAMKiBOXista tiedot siirrettiin edelleen langattomalla 3G-yhteydellä Siemensin pilvipalvelimelle ja sieltä edelleen Xamk OPC UA -palvelimelle.

IIOT-JÄRJESTELMÄN OPC UA -TOTEUTUS JA LIITYNTÄ METRIS IIOT -ALUSTAAN

OPC on lyhennys sanoista OLE for Process Control. Microsoft on ollut mukana alkupe-
räisessä OPC-standardoinnissa, sillä se pohjautuu OLE- ja DCOM-teknologiaan. OPC on
client/server-pohjainen kommunikointi, joka voi toimia ns. pollaavana (client pyytää tietoja
serveriltä) tai tapahtumapohjaisena (server toimittaa tiedot clientille muutostilanteissa). OPC
perustuu asiakas–palvelin-periaatteeseen ja mahdollistaa tiedonsiirron yksittäisistä antureista
ja toimilaitteista eri järjestelmiin (jopa ERP-järjestelmään) tai pilveen saakka. (Novotek 2019)

OPC UA -protokolla on alustasta riippumaton, ja siinä on sisäänrakennetut turvamekanis-
mit. Toisin kuin edeltäjänsä OPC UA ei ole riippuvainen Microsoft Windows -alustoista.
Sovelluksia voidaan kehittää Java-, ANSI C-, C++- ja .NET-ympäristöihin laitetoimittajasta
riippumatta, ja lisäksi uusi standardi parantaa siirrettävän datan tietoturva. (Heikkilä 2016)

OPC UA siltaa tehdasympäristöjen aikaisemmat ongelmat IP-pohjaisen tietotekniikkamaail-
man ja tuotantotason välillä. Rajapinnat, yhdyskäytävät ja niihin liittyvät tietojen menetykset
voidaan välttää, koska kaikki tuotantoprosessitiedot siirretään yhden protokollan kautta:
koneen sisällä, koneiden välillä tai koneen ja pilvitietokannan välillä. OPC UA -protokolla
poistaa periaatteessa kokonaan perinteisten tehdastason kenttäväyläjärjestelmien tarpeen. Se
on ensimmäinen teknologia, joka on rakennettu erityisesti toimimaan ”ei kenenkään maalla”,
jossa datan pitää kyetä läpäisemään palomureja ja muita tietoturva-rajapintoja. OPC UA on
suunniteltu tietokantojen, analytiikkatyökalujen, ERP-systeemien ja muiden tietojärjestelmien
ympäristöihin, joissa kenttälaitteet, sensorit, kytkimet ja valvontajärjestelmien laitteet kommu-
nikoivat, tuottavat mittausdataa ja ohjaavat prosesseja. OPC UA hyödyntää skaalautuvuutta,
useita tietoturvamalleja, useita tiedonsiirtokerroksia ja älykästä informaatiomallia tuottaakseen
pienimmän mahdollisen ohjaus- ja tietomäärän avoimeen ja vapaaseen vuorovaikutukseen
kompleksisten palvelinsovellusten kanssa. Se kykenee kommunikoimaan aina yksinkertaisesta
tilatiedosta massiivisiin määriin kompleksista tehdastason tietoa.

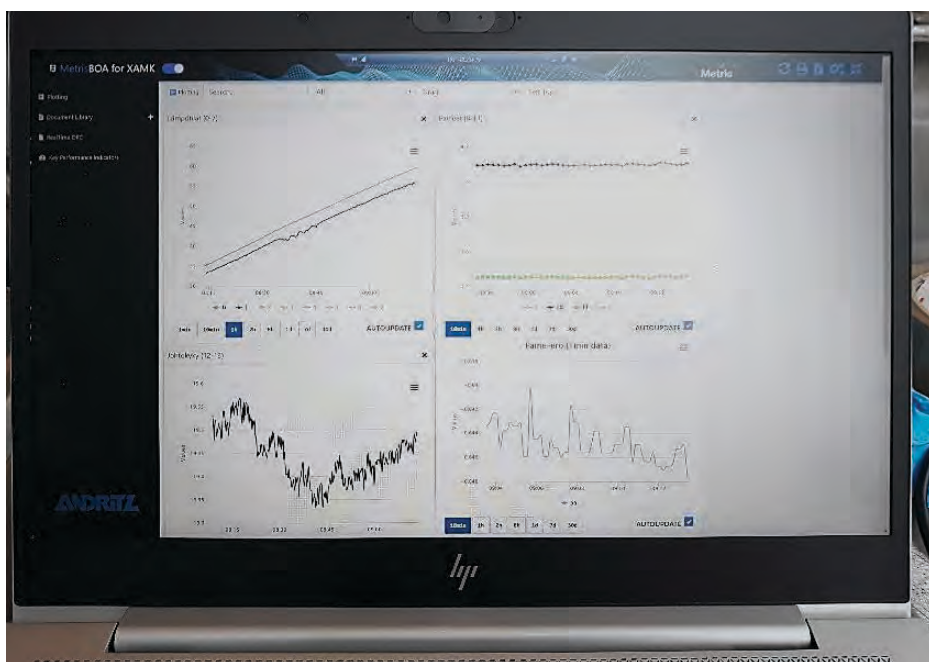


KUVA 4. OPC on client/server-pohjainen kommunikointi (Novotek 2019).

OPC UA:n skaalautuva, palvelukeskeinen sekä käyttöjärjestelmästä riippumaton arkkitehtuuri soveltuu koneiden, laitteiden ja automaatiojärjestelmien väliseen kommunikointiin, mobiiliympäristöihin sekä globaalien verkkojen väliseen tiedonsiirtoon, jossa luotettavuus ja tietoturva ovat tärkeitä elementtejä. Standardi on selvästi suunniteltu turvallisuuden ja tiedonmallinuksen näkökulmista, mutta sen moniosaisuus saattaa tosin aiheuttaa vaikeuksia toiminnan ymmärtämisessä, sillä pelkästään tietoturva on aiheena hyvinkin laaja. (Heikkilä 2016)

OPC UA:ta käytetään usein liittämään OPC-servereitä yhteen. Tätä kutsutaan tunne-loinniksi. Tunneloinnin avulla voidaan esimerkiksi välttää DCOM:n rajoitteita kommunikoidessa eri palvelimien ja verkkojen välillä. Automaation laite- ja ohjelmistovalmistajat tarjoavat enenevässä määrin OPC UA -yhteensopivia tuotteita, ja UA:n käyttö kasvaakin jatkuvasti. (Novotek 2019)

Biokasvu – kasvukosysteemin kehittäminen Savonlinnassa -hankkeeseen liittyen myös Xamk Kuitulaboratorion tiedonsiirrossa on otettu käyttöön osittain OPC UA -rajapinta, joka välittää XAMKiBOX-laitteen mittaustiedot ANDRITZ Metris IIOT -alustaan (client). Kaikkia ultrasuodatuksesta mitattuja arvoja ja itse prosessia oli mahdollista seurata reaaliajassa langattomalla verkkoyhteydellä Xamkille räätälöidyltä Metris IIOT -alustalta (kuva 5). Järjestelmä tallentaa siihen liitetyn mittausdatan SQL-tietokantaan, ja tietoja voidaan seurata sovellusnäytöltä. Tietoja voidaan seurata etänä Xamk Kuitulaboratoriosta käsin, olipa sovellus (ultrasuodatus- ja XAMKiBOX-laitteisto) missä tahansa, kunhan vain Xamkin kenttäyksikön modeemi tavoittaa langattoman 3G-verkon signaalin.



KUVA 5. Kuva kannettavan tietokoneen näytöltä, jossa näkyvillä ultrasuodatusprosessin Metris BOA for XAMK IOT -järjestelmälustan on-line-näyttö (kuva Kari Kärkkäinen).

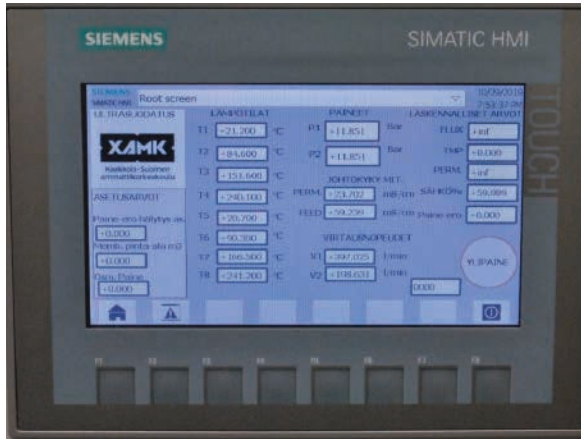
Xamk OPC UA:n kautta Metris IOT -järjestelmään kerättiin dataa seuraavista mittauksista:

- syötteen ja permeaatin virtausnopeus
- syötteen ja permeaatin johtokyky
- syötteen ja retentaatin paine sekä näiden paine-ero
- lämpötilat: säiliössä oleva neste sekä 7 muuta mittauspistettä, joista kolme suodatuspesässä ja loput suodatuslaitteiston putkistoissa.

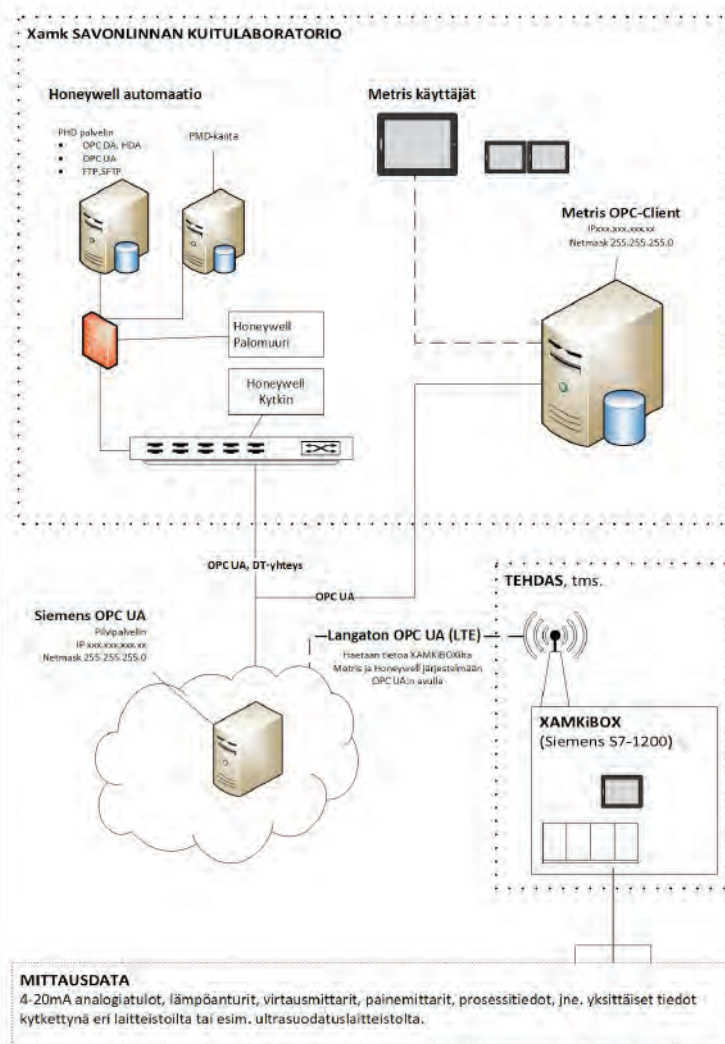
Lisäksi ultrasuodatusprosessia varten tehtiin sovellus, joka sisälsi seuraavat prosessin seurantaan liittyvät laskennat:

- kalvon vuo (FLUX)
- transmembraaninen paine (TMP)
- permeabiliteetti
- johtokykyrejektio.

Edellisten laskentaa varten hankkeessa kehitetylle suodatukseen tarkoitetulle ohjelmalle on annettava ennen kokeen aloittamista PLC-näytöltä (kuva 6) kokeen suodatuksessa käytettävälle spiraalisuodattimelle liittyvät ohjearvot; suurin sallittu paine-ero ja kalvon pinta-ala (sekä osmoottinen paine).



KUVA 6. XAMkiBOX-ultrasuodatusprosessin sovellusnäyttö (kuva Arttu Lehtinen).



KUVA 7. Järjestelmän IIoT-liityntöjen periaatekaavio (kuva Kari Kärkkäinen).

YHTEENVETO

Ultrasuodatusprosessin käyttö prosessinesteiden sekä biotuotteiden, kuten hemiselluloosa-
uutteen, jatkokäsittelyyn tarjoaa mielenkiintoisen mahdollisuuden lopputuotteiden kehi-
tämiseen. Hankkeessa tehdyn pilot-mittakaavan ultrasuodatuskokeen perusteella laitteisto
soveltuu erittäin hyvin nestemäisten biotuotteiden jatkokäsittelyyn. Xamk Kuitulaborato-
rion pakkokiertokeittimellä kuusipurusta valmistetun hemiselluloosaerän uutteen saanto
saatiin ultrasuodatuslaitteiston avulla vähintäänkin kaksinkertaistettua.

Suodatuslaitteistoon asennetut anturit, hankkeessa kehitetyt XAMKiBOX-mittauslaitteisto,
suodatusprosessiin tarkoitettu sovellusohjelma sekä aiemmin hankkeessa käyttöönottettu
Xamkille räätälöity Metris IIOT -alusta mahdollistivat ultrasuodatusprosessin tehokkaan
ja helpon seurannan.

Jatkossa XAMKiBOX-mittauslaite voidaan liittää OPC UA:n kautta myös Kuitulabora-
toriossa käyttöönotettavaan Honeywell PHD -järjestelmään, joka tarjoaa tulevaisuudessa
monipuoliset datan analysointimahdollisuudet. Huomioitavaa on, että hankkeessa käyt-
töönottettu OPC UA -serveri mahdollistaa myös muiden uusien laitteiden ja järjestelmien
suhteellisen helpon integroinnin Xamkin Honeywell- ja/tai Metris IIOT -alustaan. Ult-
rasuodatusjärjestelmän valvontaan kehitettiin myös paine-eroa tarkkaileva paikallinen
hälytyssovellutus sekä laitteiston turvapysäytys, joka periaatteessa mahdollistaa laitteiston
käytön jatkossa jatkuvana 24/7-prosessina.

Kokonaisuutena hankkeessa tehty pilot-ultrasuodatuskoe modifioituine mittaus- ja IIOT-jär-
jestelmineen sekä sovelluksineen paransi merkittävästi paitsi kasvuekosysteemin ultrasuo-
datukseen myös IIOT-asioihin liittyvää osaamista sekä kehitti merkittävästi Savonlinnan
Kuitulaboratorion ultrasuodatuksiin liittyvää laadullista palveluntarjontamahdollisuutta
tulevaisuudessa.

LÄHTEET

Novotek, 2019. OPC ja OPC UA. <https://www.novotek.com/fi/ratkaisut/kepware-kommunikointialusta/opc-ja-opc-ua/>. Viitattu 29.10.2019.

Heikkilä, M. 2016. OPC UA Automaation tiedonsiirrossa, Tampereen ammattikorkeakoulu. Automaatiotekniikan koulutusohjelma. Opinnäytetyö.

Peltokangas, T. & Käsäkoski, J. 2017. OPC UA -arkkitehtuurin toteutus ja testaus teollisuusautomaatiossa. Centria-ammattikorkeakoulu. Raportteja ja selvityksiä, 28.

HEMISELLULOOSAN KUUMA- VESIUUTTO KUITULA- BORATORION LAITTEISTOILLA

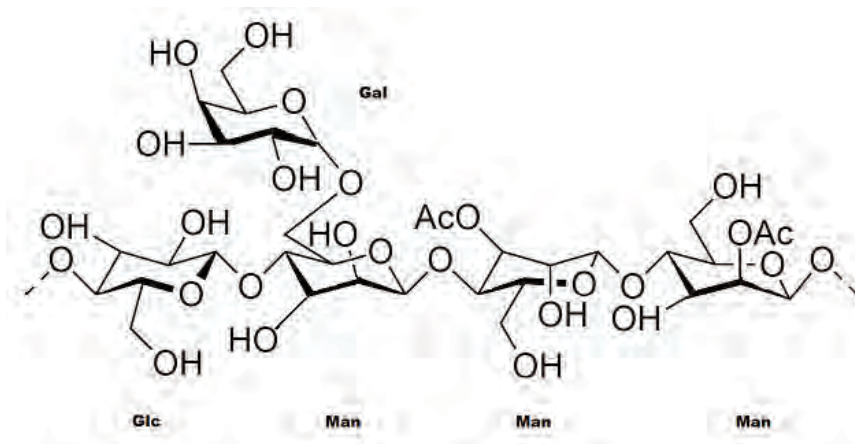
Tatu Kauppi & Kari Kärkkäinen

Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulun Kuitulaboratoriossa Savonlinnassa on tehty sahanpurun kuumavesiuuttokokeita hemiselluloosien, varsinkin galaktoglukomannaanin (GGM) eristämiseksi. Tavoitteena on ollut uuttaa mahdollisimman pitkäketjuista GGM:ää, jota voidaan käyttää muun muassa emulgointiaineena. Varsinaisia uuttolaitteistoja Kuitulaboratoriossa ei ollut, vaan koeajoissa käytettiin hyväksi jo olemassa olevaa laitekantaa. Prosessi- ja laitekehityksen tuloksena Kuitulaboratoriolle kehitettiin kaksi paineistettuihin kuumavesiuuttoihin sopivaa laitteistoa: laboratoriomittasuhteisiin sopiva panostyyppinen reaktori sekä pilottikokoluokan jatkuvatoiminen uuttoreaktori. Kehitystyö toteutettiin BOKASVU-hankkeen puitteissa vuosina 2018–2019.

Puu koostuu pääasiassa kolmesta eri yhdisteryhmästä: selluloosasta (40–45 %), hemiselluloosista (20–30 %) ja ligniinistä (20–30 %). Lisäksi puusta löytyy pieni määrä niin sanottuja uuteaineita, kuten erilaisia rasvoja ja vahoja, sekä epäorgaanisia yhdisteitä. Vielä nykyään puun yhdisteistä hyödynnetään monipuolisesti käytännössä vain selluloosa, kun taas hemiselluloosat ja ligniini pääasiassa käytetään energiantuotantoon. Ligniinille ja hemiselluloosille on kuitenkin olemassa jatkojalostusmahdollisuuksia, ja ne ovatkin olleet aktiivisesti tutkimusten kohteina viime vuosina. (Krogell ym. 2013)

GALAKTOGLUKOMANNAANIN UUTTAMINEN

Kotimaisten havupuiden, kuten kuusen ja männyn, yleisin hemiselluloosa on galaktoglukomannaani (GGM). GGM koostuu galaktoosi-, glukoosi- ja mannaaniyksiköistä, ja varsinkin galaktoosin suhde muihin monomeereihin saattaa vaihdella (kuva 1).



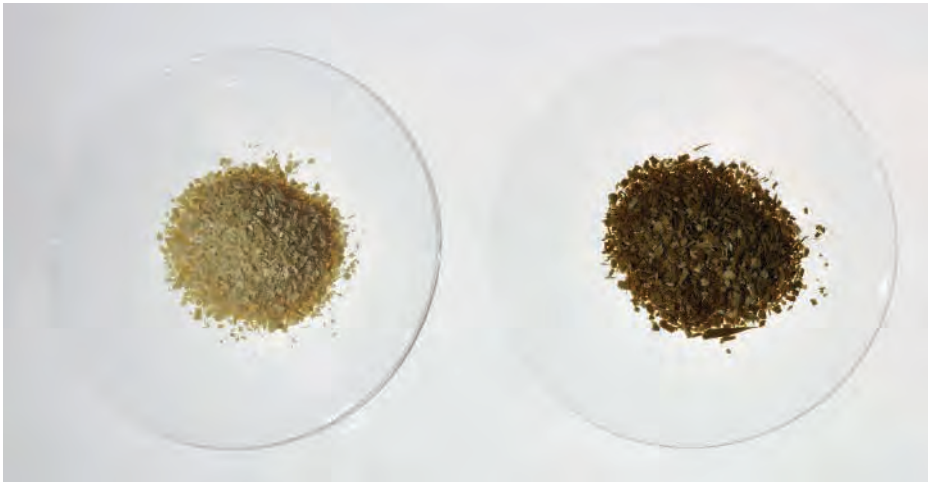
KUVA 1. GGM:n kemiallinen rakenne.

GGM:n osuus havupuissa olevista hemiselluloosista on yleensä yli 60 prosenttia ja koko puuaineksesta yli 15 prosenttia kuiva-aineesta (Song 2013). GGM:stä on mahdollista valmistaa muun muassa emulgointiaineita sekä bioetanolia ja -polymeerejä (Krogell ym. 2013).

GGM erotetaan puuaineksesta kuumavesiuuton avulla. Uuttoprosessissa tarvitaan lähes 10 baarin paine, sillä uutto käynnistyy vasta yli 160 °C:n lämpötilassa. Uuttoparametreja säättämällä voidaan vaikuttaa uutettavan GGM:n laatuun. Uuton aikana syntyy etikkahappoa, joka alkaa pilkkoa polymeeria. Jos halutaan mahdollisimman pitkäketjuista GGM:ää, pitää uuttoparametrit valita mahdollisimman alhaisiksi mutta kuitenkin niin, että uuttoprosessi tapahtuu riittävän tehokkaasti (Song 2013).

Uuttoprosessissa nestefaasiin liukenee myös jonkin verran muita yhdisteitä, jotka koostuvat pääasiassa ligniinistä. Näin ollen uute vaatii jatkokäsittelyä. Uutteen kuiva-ainepitoisuus on prosessin jälkeen noin 10–20 g/l riippuen uuttolaitteistosta. Mahdollisuuksia GGM:n erottamiseksi nestefaasista on ultrasuodatus tai alipainehaihdutus. Ultrasuodatus ei poista kaikkea nestettä, mutta sen etuna on se, että GGM voidaan erottaa ei-halutuista uuttotuotteista valitsemalla sopiva suodatuskalvo. Konsentroidin jälkeen uute voidaan kuivata esimerkiksi spraykuivauksella. Alipainehaihdutusta käytettäessä konsentroituu uutteesen voidaan lisätä asetonia tai etanolia, jolloin GGM saostuu ja se voidaan erottaa suodattamalla. Asetonilla saadaan parempi saanto, mutta etanoli on selektiivisempi pitkäketjuiselle GGM:lle.

Kuitulaboratorion uuttokokeissa GGM uutettiin Savonlinnassa toimivalta sahalta saadusta kuusen sahanpurusta (kuva 2). Ennen uuttota sahanpuru seulottiin alle 3 mm:n jakeeseen. Laitteistoina käytettiin pakkokiertokeitintä ja paineellista jatkuvatoimista ruuvireaktoria. Uutteiden jatkokäsittelyt toteutettiin saostamalla konsentroituu uute asetonilla ja etanolilla.



KUVA 2. Vasemmalla tuoretta sahanpurua ja oikealla uutettu sahanpuru (kuva Mari Rasku).

PAKKOKIERTOKEITIN

Pakkokiertokeitin (kuva 3) on alun perin suunniteltu laboratoriokeittolaitteeksi. Se sopii hyvin uuttoparametrien selvittämiseen sekä pienien uutemäärien tuottamiseen. Lisäksi laitteistolla voidaan uuttaa lähes minkäkokoista jätettä tahansa sillä rajoituksella, että se ei mene sihdin läpi ja se mahtuu uuttopesään. Laitteisto on mahdollista lämmittää aina 200 °C lämpötilaan.



KUVA 3. Pakkokiertokeitin (kuva Tatu Kauppi).

Keittimen oikealla puolella on uuttopesä, johon uutettava materiaali asetetaan sihdin sisään, jolloin uuttoneste pääsee kiertämään keskellä olevan lämmityssäiliön kautta takaisin uutettavaan materiaaliin. Keittimessä on vasemmalla puolella myös toinen säiliö, josta voidaan tehdä esimerkiksi kemikaalilisäyksiä tai käyttää sitä uutettavan materiaalin pesuun.

Uuttokokeissa pakkokiertokeitintä käytettiin pääasiassa optimaalisten uuttoparametrien selvittämiseen, joita käytettiin myöhemmin soveltaen biomassareaktorin prosessikehityksessä. Uuttoprosessia ohjattiin Labview-ohjelmiston avulla. Ohjelmistolla on mahdollista asettaa uuttolämpötila sekä ohjata laitteiston venttiilejä.

PAINEELLINEN JATKUVATOIMINEN RUUVIREAKTORI

Paineellinen jatkuvatoiminen ruuvireaktori, josta käytetään myös nimitystä MCC-reaktori (kuva 4), on alun perin kehitetty mikrokiteisen selluloosan (MCC) valmistukseen.



KUVA 4. Paineellinen jatkuvatoiminen ruuvireaktori (kuva Tatu Kauppi).

Reaktori jakaantuu käytännössä kolmeen osaan: tulpparuuviin, reaktoriin sekä purkuventtiileihin. Tulpparuuvilla materiaali syötettiin reaktorin sisään siten, että materiaali tiivistyi nimensä mukaisesti tulpaksi, jolloin reaktorin paineet pysyivät reaktorin sisällä. Tämä ominaisuus rajoittaa uutettavan materiaalin koostumusta. Toisin sanoen uutettavan materiaalin tulee pystyä muodostamaan tiivis tulppa, joten uutettava jae ei voi olla kovin suurikokoista. Reaktorin sisällä pyörii myös ruuvi, joka siirsi uutettavaa materiaalia syöttöpäästä purkupäähän. Uutettu materiaali ja uute poistettiin reaktorista reaktorin purkupäässä kahden vuorottain kääntyvän venttiilin avulla, jolloin paine saatiin pidettyä reaktorin sisällä.

Ruuvireaktorissa on mahdollista ohjata seuraavia uuttoparametreja: purunsyötön nopeus, vedensyötön nopeus, uuton aika sekä lämpötila. Purun syöttöä ohjattiin tulpparuuvin nopeudella ja veden syöttöä erillisellä pumpulla. Uuttoaikaa voitiin säädellä reaktorin ruuvilla, joka myös sekoitti uutettavaa seosta. Purkupään venttiilien sekvenssi säädettiin sellaiseksi, että purua ja nestettä poistui samaan tahtiin syötön kanssa.

Ruuvireaktorilla tehtiin useita uuttokokeita, ja suurin haaste oli löytää toimiva syöttömenetelmä. Tulpparuuvi osoittautui toimivaksi, ja kokeet painoutuivat uuttoajan säätämiseen sekä sopivan puru/neste-suhteen löytämiseen.

TULOKSET

Ensimmäiset uuttokokeet tehtiin pakkokiertokeittimellä. Parhaimmillaan uutensaannot olivat 150 mg per 1 gramma kuivaa sahanpurua, eli 15 prosenttia kuiva-aineesta saatiin uutettua. Lisäksi pesujen avulla saantoa saatiin nostettua jopa lähes 20 prosenttiin. Pakko-kiertokeittimeltä saadun uutteen konsentraatio oli parhaimmillaan 18 g/l ja pH-arvo noin 3,5, joka oli uuton kannalta lähellä optimaalisinta. Ruuvireaktorilla tehtyjen uutteen saanto ei ollut yhtä hyvä kuin pakkokiertokeittimen vastaava. Parhaimmillaan uutensaannoksi saatiin noin 70 mg per 1 gramma kuivaa sahanpurua eli noin 7 prosentin saanto. Uutteen konsentraatio oli parhaimmillaan noin 10,5 g/l pH-arvon ollessa noin 3,7.

Suoraan reaktorista tai keittimestä saadun uutteen GGM-pitoisuus ei ollut kovin korkea, mutta etanoli- ja asetonisaostuksella uutteen GGM-pitoisuutta saatiin nostettua merkittävästi (taulukko 1).

TAULUKKO 1. Yhdisteiden pitoisuuksia ja ominaisuuksia uutteissa.

Näyte	PKK-R	PKK-A	RR-R	RR-E
Uutensaanto mg/g	150	n/a	70	n/a
Hemiselluloosien osuus (%)	n/a	80,1	66,7	74,4
GGM:n osuus (%)	n/a	64,2	41,6	54,8
Ligniinin osuus (%)	n/a	2,2	15,6	3,7
Mw (kDa)	n/a	6,11	n/a	23,25
Mw/Mn	n/a	1,44	n/a	1,3

PKK-R = Pakkoikiertokeittimellä tehty uute

PKK-A = Asetonilla saostettu pakkokiertokeitinuute

RR-R = Ruuvireaktorilla tehty uute

RR-E = Etanolilla saostettu ruuvireaktoriuute

GGM = Galaktoglukomannaani

Mw = Painokeskimääräinen moolimassa

Mn = Numerokeskimääräinen moolimassa

Taulukosta 1 nähdään, että käsittelemättömässä uutteessa on melko paljon ligniiniä. Se saatiin kuitenkin melko hyvin poistettua uutesta liuotinsaostuksen avulla. Asetonilla tehty saostus poistaa ligniinin tehokkaammin, mutta etanolisaostuksella saadaan erotettua pitempiketjuiset GGM:t paremmin. Kuitenkin myös jatkokäsittelyihin uutteisiin jää aina pieni määrä ligniiniä, jonka voi nähdä myös kuivatun uutteen ruskeana värinä (kuva 5).



KUVA 5. Vasemmalla suodatettu uute. Oikealla etanolisaostettu, suodatettu ja kuivattu uute (kuva Mari Rasku).

YHTEENVETO

BIOKASVU-hankkeen aikana tehtyjen kokeiden ja laitteistojen muokkaamisen tuloksena Kuitulaboratoriolla on käytettävissä kaksi paineistettuihin kuumavesiuuttoihin soveltuvaa laitteistoa menetelmien ja valmiudet erottaa pitkäketjuista GGM:ää sahanpurusta. Varsinkin jatkuvatoiminen ruuvireaktori tuo paljon uusia mahdollisuuksia erilaisten biomassojen entistä monipuolisempaan hyödyntämiseen. Tällä hetkellä vielä pakkokiertokeittimeltä saadun uutteen saanto on parempi, mutta ruuvireaktorin prosessin kehittämällä saantoa on mahdollista vielä parantaa. Lisäksi reaktoriin on suunnitteilla uudenlainen syöttöpää, jolloin reaktorilla voitaisiin käsitellä monipuolisemmin erikokoisia biomassajakeita.

LÄHTEET

Krogell, J., Korotkova, E., Eränen, K., Pranovich A., Salmi, T., Murzin, D. & Willför, S. 2013. Intensification of hemicellulose hot-water extraction from spruce wood in a batch extractor – Effects of wood particle size. *Bioresource Technology*. 143 (2013), 212–220.

Song, T. 2013. Extraction of polymeric galactoglucomannans from spruce wood by pressurized hot water. Åbo akademi. Laboratory of Wood and Paper Chemistry. Väitöskirja.

3D-TULOSTUKSEN KEHITTÄMIS- YMPÄRISTÖ 3K-TEHTAALLE

Ilkka Vanttaja & Tatu Kauppi

Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulun (Xamk) tutkimusyksiköt etsivät jatkuvasti uusia avauksia perustuen toimintaympäristön yritysten alati muuttuviin tarpeisiin. BOKASVU – Biotuotetekniikan kasvukosysteemin kehittäminen Savonlinnassa -projektissa (2018–2019) toteutettiin useita uuden teknologian demonstrointihankkeita. Yksi näistä toimenpiteistä oli kuitumateriaaleihin nojaava ja alueellisen teknologiaklusterin tarpeita kartoittava 3D-tulostuksen asiantuntijuuden kehittämisen työpaketti.

Biokasvuhankkeen puitteissa 3K-tehtaalle vuokrattiin ensimmäinen 3D-tulostin, jotta päästiin käytännössä kokeilemaan erilaisten biopohjaisten komposiittien soveltuvuutta valmistuksessa. Demonstraatioiden lisäksi tulostettuja materiaaleja myös testattiin Xamkin Materiaalitekniikan laboratoriossa Mikkelissä. Alueen teknologiatoimijoille järjestettiin työpajoja ja yrityksissä vierailtiin keskustelemassa 3D-tulostuksen mahdollisuuksista liiketoiminnassa. Yritysten osoittama mielenkiinto ja aktiivisuus ovat vahvasti myötävaikuttaneet siihen, että 3K-tehtaalle syntyy positiivisen EAKR-rahoitus päätöksen saaneiden jatkohankkeiden myötä (2020–2021) uusi 3D-tulostuksen kehittämisympäristö.

JOHDANTO

Materiaalia lisäävällä valmistuksella tarkoitetaan joukkoa valmistusmenetelmiä, kuten kaupanimillä stereolitografia, lasersintraus, FDM ja materiaalin pursotus tunnettuja prosesseja. Kansainvälisiin standardeihin (ISO/ASTM 52900:2015) materiaalia lisäävä valmistus on tullut termillä Additive Manufacturing, AM. Käytämme kuitenkin tässä yhteydessä myös puhekieleen vakiintunutta termiä 3D-tulostus, koska se on lyhyempi ja teknologiaa paremmin kuvaava termi.

Materiaalia lisäävän valmistuksen käyttönotolla voidaan vähentää osakokoonpanojen määrää ja siten lyhentää tuotantoaikoja. Suunnittelussa rakenteiden optimoinnilla voidaan pienentää komponenttien painoa ja kokoa. Kun komponentit valmistetaan paikallisesti, komponenttien ja varaosien toimitusajat lyhenevät ja samalla valmistettävien, varastoitavien sekä huollettavien osien määrä vähenee.

Teknologia parantaa muovia ja metallia käytettäessä ympäristö- ja materiaalitehokkuutta, ja materiaalihukka on vähäisempää verrattaessa perinteisiin työstötekniikoihin.

Lyhyet sarjat ja yksilölliset tuotteet syntyvät helposti ja edullisesti ilman kalliita erikoistyökaluja tai muotteja. Esimerkiksi varaosat voidaan säilyttää sähköisinä kuvina ja tulostaa tarvittaessa. Vanhoista osista kuvat voidaan tehdä mitoittamalla ja piirtämällä tai yksinkertaisesti 3D-skannaamalla.

Muoveja käytetään tulostuksessa prototyyppien valmistukseen, suunnitteluun ja pienoismalleihin, joita voidaan käyttää muun muassa myynnin ja markkinoinnin apuvälineinä. Tulostettavien muovien materiaalikehitys on lisännyt myös lopputuotteiksi ja komponenteiksi valmistettavien muoviosien käyttöä. Hiilikuitulujitetut tulostusmuovit yltyvät alumiinin tasoiseen lujuteen ja jäykkyyteen. Niistä voidaan valmistaa esimerkiksi työkaluja, kiinnittimiä ja jigejä. Teknologia voi nopeuttaa alueellisen toimintaverkoston yhteistyönä tuotekehitystä sekä tuottaa kustannus- ja materiaalisäästöjä esimerkiksi alihankintakonepajoissa (jigikustannukset, prototyyppikustannukset jne.).

Muovien ja muovikomposiittien kohdalla kehitys on ympäristösyistä siirtymässä 3D-tulostuksessaakin biopohjaisiin ja biohajoaviin muoveihin. Tärkkelysperäinen polylaktidi (PLA) on käytetyin tulostusmuovi, ja sitä käytetään myös puumuovikomposiiteissa matriisina. Puu nykyisissä kaupallisissa komposiiteissa on joko puujauhoa, selluloosaa tai ligniiniä. Keväällä 2018 UPM julkisti oman puufilamenttinsa UPM Formi 3D:n, joka on PLA:n ja selluloosan sekoitus. Stora Enso on sittemmin julkaissut vastaavan tuotteen kauppanimellä DuraSense. VTT tekee Suomessa vahvaa termoplastisten selluloosien kehitystyötä, mutta ne eivät ole vielä levinneet varsinaiseen sovelluskäyttöön.

”Biotuotetekniikan kasvukosysteemin kehittäminen Savonlinnassa (Biokasvu)” on projekti, jota TEM, Savonlinnan kaupunki ja Xamk rahoittavat 2018–2019. Projektin Digifiber-työpaketissa toteutettiin 3D-tulostuksen demonstrointiosio, jossa testattiin muun muassa puupitoisten komposiittien 3D-tulostusta ja selvitettiin teknologian tarjoamia mahdollisuuksia eteläsavolaisten yritysten näkökulmasta. Samaan aikaan järjestettiin ESR-rahoitteen ”Teknologiatoiminnan tulevaisuuden osaajat Etelä-Savossa (TEKOS 2020)” -projektin kautta neljä yritykselle suunnattua ja hyvin vastaanotettua 3D-tulostuskoulutusta.

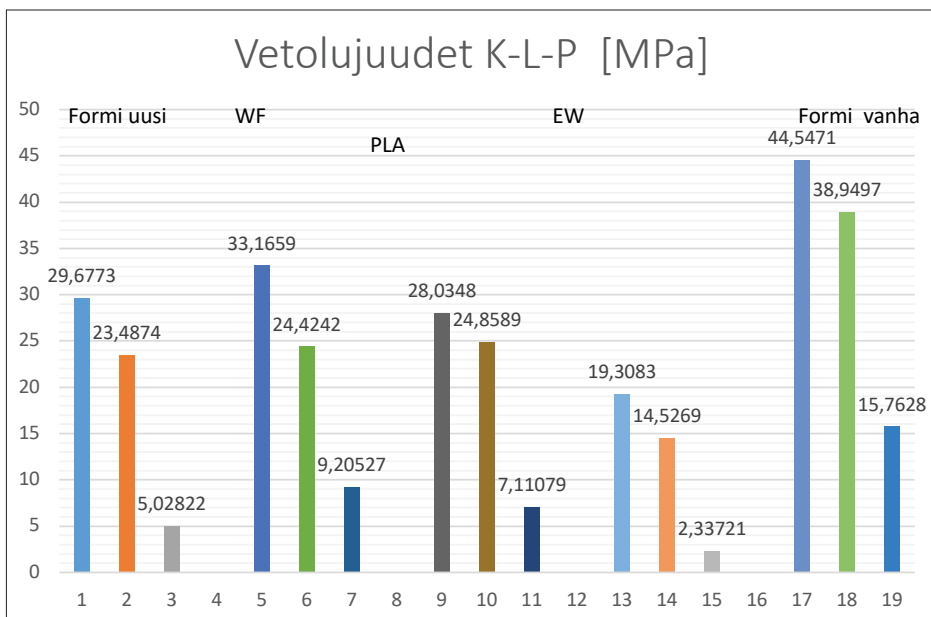
Biokasvuprojekti järjesti keväällä ja kesällä 2019 yrityksille kolme avointa työpajaa, ja sen lisäksi hanketutkijat kiersivät eteläsavolaisissa yrityksissä keskustelemassa 3D-tulostuksen tarjoamista mahdollisuuksista ja haasteista. Keskusteluissa tuli esille tarve lisätä tietotaitoa ja osoittaa liiketoiminnallista etua tarjoavia esimerkitapauksia niitä demonstroimalla ja pilotoimalla.

Tavoitteena on löytää ne mahdollisuudet, joita AM-teknologia voi tarjota paikalliselle yritystoiminnalle Etelä-Savossa. Erityistavoitteena on testata, voidaanko biopohjaisia materiaaleja käyttää esimerkiksi elektroniikassa ja miten 3D-tulostus ylipäättään voisi viedä paikallista yritystoimintaa eteenpäin. Biokasvun (2018–2019) viitoittamalla tiellä jatketaan EAKR:n, Xamkin ja yritysten rahoittamissa ”Ainetta lisäävän valmistuksen sovellukset/laiteprojekti alueellisessa teknologiaklusterissa (AMAP/AMAP-laitte)” -projekteissa (2020–2021).

KOKEMUKSIA PUUFILAMENTTIEN 3D-TULOSTUKSESTA

Xamkille Savonlinnaan vuokrattiin ensimmäinen 3D-tulostin loppuvuodesta 2018. Kyseessä oli melko tavanomainen mutta kahdella erillisellä tulostuspäällä varustettu pursotusmenetelmään (Material Extrusion) perustuva ns. lankatulostin BCN3D Sigma R19. Sillä oli mahdollisuus testata markkinoilla olevien, sinne tulleiden uusien ja vasta kehitysvaiheessa olevien biokuitukomposiittien 3D-tulostusta.

Testeissä käytettiin muun muassa jo jonkin aikaa markkinoilla ollutta puujauhon (30 %) ja PLA:n (70 %) seosta Colorfabb Woodfill ja sekä esimerkiksi selluloosan (20 %) ja PLA:n (80 %) seosta UPM Formi 3D. Lisäksi kokeiltiin muidenkin valmistajien puufilamentteja sekä muita biokuitufilamentteja, kuten olut- ja hamppufilamentteja. Vertailun vuoksi joitakin tulosteita tehtiin lisäksi tutummilla teknisillä muoveilla, kuten PA, PET ja ABS, joiden ominaisuudet ovat verraten hyvin tunnettuja.



KUVA 1. Puufilamenttien ja PLA:n vetolujuuksia (ISO 527) kyljellään, lappeellaan ja pystyasennossa tulostetuille vetosauvoille.

Kuvan 1 vetolujuuskokeet on tehty Xamkin Materiaalitekniikan laboratoriossa Mikkelissä. Pylväät 1, 5, 9, 13 ja 17 edustavat kylkiasennossa tulostettuja vetosauvoja ja pylväät 3, 7, 11, 15 ja 19 pystyasennossa tulostettuja sauvoja. Pystyasennossa tulosteet ovat heikoimmillaan, koska tulostuskerrosten välisiä rajapintoja on vetosuunnassa paljon. Sen sijaan kyljellään ja lappeellaan tulostettujen välistä eroa ei ole vielä tyhjentävästi selitetty.

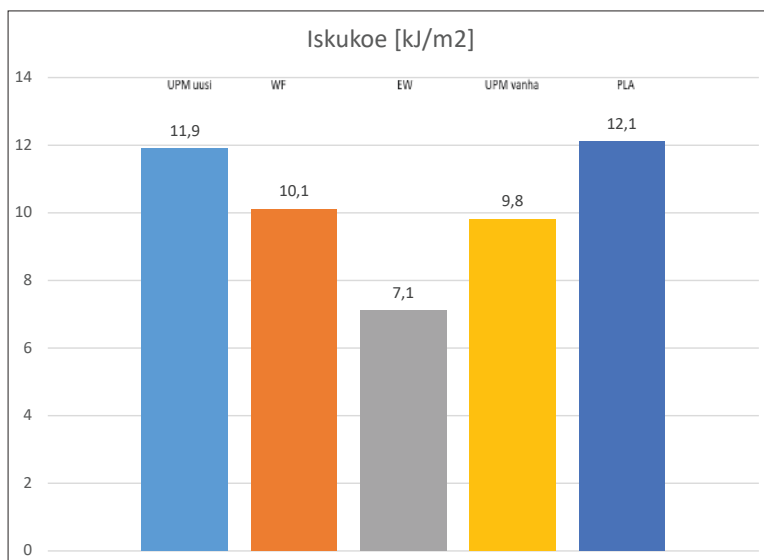
Vetosauvojen tulostajat eivät ole ehkä löytäneet kymmenien parametrien joukosta kaikissa tapauksissa aivan ideaalisia parametreja, koska materiaalien valmistajat ovat raportoineet saavuttaneensa puufilamenteilla parhaimmillaan puhtaan PLA:n lujuuksia. Todettakoon myös, että UPM:n Formi 3D -komposiitit ovat kokeissa olleet kehitysversioita. Nykyään niitä ei enää filamenttina kaupasta saa, vaan UPM:n raaka-aineesta sitä valmistaa ruotsalainen add:north Textura-nimellä. UPM:n Formi 3D:tä voi ostaa granulaattina eli rakeina.

WF kuvassa 1 viittaa hollantilaisen ColorFabbin WoodFilliin ja EW Extrudr Woodiin. Extrudr on itävaltalainen yritys, joka kertoo valmistaneensa puufilamenttinsa ligniinistä ja biopolymeeristä.

Puufilamenttien teknisiä ominaisuuksia rajoittavat usein matriisina käytettävän PLA:n huono lämmönkestävyys (max 60 °C) sekä se, että puuaineksella ei ole helppo saavuttaa lujittavaa vaikutusta. Puuaines ei tulostusprosessissa sula, ja sillä voi olla huono adheesio PLA:n kanssa. Selluloosan muokkaamisella adheesiota on kuitenkin mahdollista parantaa. Käytettävän puumateriaalin määrä, muoto ja mitat vaikuttavat myös. Erilaisten biomateriaalien 3D-tulostusta tutkitaankin tällä hetkellä erittäin laajasti. (Liu ym. 2019)

Vetokokeiden lisäksi tehtiin taivutus- ja iskukokeita. Taivutuskokeet antoivat saman sisältöistä tulosta kuin vetokokeetkin, mutta iskukokeissa UPM:n Formi 3D:n uudempi versio ylsi iskusitkeydessä samoihin lukemiin PLA:n kanssa (kuva 2).

Puufilamenteilla ja muillakin biokuitukomposiiteilla on paljon hyviä ominaisuuksia. Ne soveltuvat erilaisten pienoismallien, prototyyppien, koriste-esineiden, sisustuselementtien, huonekalujen ja muottien valmistukseen (kuva 3).



KUVA 2. Standardia ISO 179-1/1fUc mukailten tehtyjen Charpy V -iskusitkeyskokeiden keskiarvotuloksia puufilamenteille ja vertailumateriaalina käytetylle PLA:lle.

Puukuitukomposiittien hiilijalanjälki on pienempi kuin öljypohjaisilla muoveilla. UPM Formin kohdalla ero on valmistajan mukaan –50 prosenttia. Komposiitit ovat myös sataprosenttisesti kierrätettäviä. 3D-tulostuksen myötä muotoiluun tulee uusia vapauksia, ja jälkityöstömenetelmät ovat samoja kuin puutuotteissa.



KUVA 3. Vasemmalla ylhäällä kännykkätelineitä ja oikealla ylhäällä LED-kotelon kansiosa Colorfabbin WoodFillistä. Vasemmalla alhaalla lampunvarjostin UPM Formi 3D:stä ja oikealla alhaalla pohjallisia joustavasta biohajoavasta WillowFlex-materiaalista (sis. mm. PBS:ää eli polybutyleenisukkinaattia) (kuva Ilkka Vanttaja).

Loppuvuodesta 2019 Xamkille Savonlinnaan hankittua filamentin valmistuskonetta testataan ensi alkuun kierrätysmateriaalien hyödyntämisessä (ml. epäonnistuneet 3D-tulosteet) ja kokemuksen karttuessa myös ”omalla reseptillä” valmistettujen komposiittilankojen valmistuksessa.

KOKEMUKSET KANNUSTAVAT JATKAMAAN

Jatkossa Xamkilla on Savonlinnassa tavoitteena valmistaa muovia korvaavia puupohjaisia komposiitteja sekä niiden raaka-aineita paikallisesti Xamkin laboratorioissa ja yrityksissä, tehdä alueellisena ja kansallisena yhteistyönä prototyyppejä erilaisilla konstruktiolla ja materiaaleilla sekä tuottaa tietoa niiden toiminnallisesta, kestävyyyteen sekä kustannus- ja materiaalitehokkuuteen perustuvista hyödyistä ja käyttöönottomahdollisuuksista yrityksissä.

Tietotaitoa 3D-tulostuksessa lisätään teollisten esimerkkitapausten osoittamisella ja niitä demonstroimalla ja pilotoimalla. Osaamistasoa nostetaan paikallisissa oppilaitoksissa, suunnittelutoimistoissa sekä 3D-tulostusta tekevien alihankkijoiden sekä heidän asiakkaidensa piirissä. Erityistavoitteena on löytää ne mahdollisuudet, joita AM-teknologia voi tarjota paikalliselle elektroniikkateollisuudelle. Elektroniikkateollisuus käyttää kuusi prosenttia kaikesta muovista maailmassa. Sovelluskohteita voi nähdä kotelorakenteissa, pienosissa, liittimissä ja valmistuksen työkaluissa, kuten kiinnittimissä.

Tulevissa AMAP-hankkeissa (2020–2021) toteutetaan toimenpiteenä biopolymeerien ja kuitumateriaaliseosten 3D-tulostuksen testi- ja pilotointiympäristö Elektroniikan 3K-tehtaassa. Rakennettava tutkimusfasilitteetti koostuu teollisesta teknisten muovien ja kuitukomposiittien 3D-tulostuslaitteesta, biomateriaaleille soveltuvasta tulostimesta sekä 3D-tulostimesta, jolla tulostetaan jatkuvaa hiilikuitua erittäin lujan muovikomposiitin valmistamiseksi. Lisäksi varustukseen kuuluu 3D-skanneri ja ohjelmistoja tulostusmallien optimoimiseen.

3D-tulostuksen osaamisen kehittäminen palvelee myös paikallisia metallituotteiden valmistajia. Alueella kaivataan lisäksi paikallista toimijoiden verkostoa, josta löytyisi erityisosaamista suunnitteluun ja alihankintaan. Moni yritys harkitseekin nyt laiteinvestointeja materiaalia lisäävään valmistukseen.

”Ainetta lisäävän valmistuksen sovellukset/laiteprojekti alueellisessa teknologiaklusterissa (AMAP/AMAP-laite)” -projekteissa (2020–2021) kohderyhminä ovat:

- puuala eli huonekalujen valmistajat, sisustus, lavastus, rakennuselementtien valmistajat
- elektroniikkateollisuuden tuotekehitys- ja sopimusvalmistajat, elektroniikan mekaniikkaa suunnittelevat ja valmistavat yritykset
- konepajateollisuus alihankkijoineen
- suunnittelualan yritykset ml. datanhallinta- ja muotoilupalvelut.

AMAP-hankkeessa on tutkimuksellinen osuus, jossa tulostettuja materiaaleja testataan ja materiaaleja kehitetään muun muassa kierrätettävyyden näkökulmasta. Teknologiaa siirretään järjestämällä keskustelutilaisuuksia ja työpajoja tiedon jakamiseksi ja hankkimalla kilpailutettuna tutkimusalihankintana neuvontaa erityisesti suunnitteluun materiaalia lisäävää valmistusta varten.

Hankkeessa mukana olevien yritysten piiristä kartoitetaan 3D-tulostukseen soveltuvia tuotantokappaleita ja varaosia, joiden joukosta valitaan julkisia esimerkkitapauksia projektissa demonstroitaviksi. Tavoitteena on konkretisoida ja tuoda esille 3D-tulostuksen tarjoamia etuja sekä siihen liittyviä rajoituksia.

Hankkeen tuloksena tavoitellaan sitä, että paikalliset teknologiateollisuuden yritykset ottavat 3D-tulostuksen käyttöön niissä kohteissa, joissa menetelmä tarjoaa aivan uusia mahdollisuuksia ja kilpailuetua vanhaan toimintatapaan ja vanhoihin ratkaisuihin verrattuna.

Xamk tarjoaa 3K-tehtaan pilotointiympäristöä paikallisten toimijoiden käyttöön osana tutkimuspalvelutarjontaansa. Mikäli tulokset ovat lupaavia, materiaalikehityksen puolella jatketaan kehitystyötä yhdessä metsäteollisuuden, LUTin sekä Xamkin sopimusyhteistyökumppaneiden Aalto-yliopiston ja VTT:n kanssa.

JOHTOPÄÄTÖKSET

Etelä-Savon teknologiayritykset ovat aktiivisesti etsimässä kilpailuetuja uusista teknologioista, kuten materiaalia lisäävästä valmistuksesta eli kuvaavammin 3D-tulostuksesta. Xamk on ollut aiheessa aktiivinen jo jonkin aikaa kaikilla kampuspaikkakunnillaan. Savonlinnasakin nämä aktiviteetit tähtäävät yritysten auttamiseen ja nojaavat siihen osaamiseen, joka Xamkin Kuitulaboratoriossa (puukuitumateriaalit, prosessit ja tuotteet) ja Elektroniikan 3K-tehtaalla (komponenttien teollinen kehitys, testaus ja valmistus, elektroniikan ja muoviosien liittäminen) on vuosien mittaan luotu.

Työ- ja elinkeinoministeriön, Xamkin ja Savonlinnan kaupungin rahoittamassa Biokasvu-hankkeessa biokuitumateriaalien 3D-tulostus oli vain yksi toimenpide yhdessä työpaketissa monien muiden eri aiheiden koeponnistusten rinnalla. Vuoropuhelu yritysten kanssa on EAKR-rahoittajan myötävaikutuksella johtamassa siihen, että TEMin ja edellä mainittujen kumppaneiden kylvämä Biokasvun siemen versoo jatkossa uusia tuloksia 3D-tulostuksen saralla.

Yritykset oppivat tunnistamaan 3D-tulostettaviksi soveltuvat kappaleet ja ymmärtämään näiden menetelmien potentiaalin. Xamkin Kuitulaboratoriolle syntyy biokomposiittien materiaalikehityksessä uusi metsäalan tutkimushaara, joka tukee kestäväen kehityksen periaatteita ja integroi Etelä-Savon kärkiosaamista (ml. Mikkelin materiaalitekniikka) selvästi profiloituvaksi uudeksi kärjeksi. Xamkin ryhmä ja resurssit Elektroniikan 3K-tehtaalla uusiutuvat ja vahvistuvat, mikä tukee elektroniikkasektorin virinnyttä kasvua alueella. Uudet ratkaisut parantavat kilpailukykyä ja työllisyyttä myös teknologiapalveluissa ja konepajateollisuudessa.

LÄHTEET

Liu, J., Sun, L., Xu, W., Wang, Q., Yu, S. & Sun, J. 2019. Current advances and future perspectives of 3D printing natural-derived biopolymers. *Carbohydrate Polymers*. 207 (2019) 297–316.

ELINKAARIMALLINTAMINEN – PÄÄTÖKSENTEON TUEKSI

Maija Massinen

Markkinakilpailussa pärjääminen on yrityksen menestyksen elinehto. Palvelujen kehittäminen ja parempi asiakkaiden asettamien vaatimusten täyttäminen palvelutarjonnassa on entistä tärkeämpää. Elinkaarimallinnuksen keinoin pystytään vastamaan näihin kuluttajien asettamiin vaatimuksiin esimerkiksi saatavilla olevista ympäristöystävällisemmistä tuotteista ja palveluista. Yritysmaailmaa koskevat ympäristömääräykset ohjailevat osaltaan yritysten toimintaa. Elinkaarimallinnukseen liittyvät tiedot ja taidot ovat vielä kuitenkin puutteellisia. Xamk Kuitulaboratorion BOKASVU-hanke on osaltaan pyrkinyt vastaamaan tähän haasteeseen ja tarjoamaan muun muassa koulutusta elinkaarimallintamisesta.

JOHDANTO

Ympäristöasiat ovat nousseet esille viime aikoina entistä enemmän, ja niihin kiinnitetään yhä enemmän huomiota. Kuluttajat ovat entistä kiinnostuneempia hyödykkeiden ja palvelujen ympäristövaikutuksista. Yritysmaailmaa koskevat ympäristömääräykset ohjailevat yritysten toimintaa enenevässä määrin. Kuluttajien vaatimusten ja tottumusten vakiintuessa on yritysmaailman vastattava tähän haasteeseen. Elinkaarimallintaminen on yksi menetelmä, jolla yritys voi erottua edukseen markkinakilpailussa vastatessaan kuluttajien uusiin vaatimuksiin. Elinkaarimallintamisen avulla pystytään erottamaan merkittävimmät ympäristövaikutukset, ja sitä voidaan soveltaa esimerkiksi kiertotalouden sovelluksissa. Xamk Kuitulaboratorion BOKASVU-hankkeessa on perehdytty mallintamisen soveltamiseen muun muassa mekaanisen metsäteollisuuden sivuainevirtojen hyödyntämisen sovelluksissa.

MITÄ ELINKAARIMALLINTAMINEN (LCA) TARKOITTAÄ?

Elinkaarimallintaminen on menetelmä, jonka avulla voidaan tehdä arvio tuotteen, prosessin tai toiminnon aiheuttamista ympäristövaikutuksista koko sen elinkaaren ajalta (Rebitzer et al. 2004, 701–702). Elinkaari kuvaa esimerkiksi tuotteen vaiheita alkutuotannosta aina tuotteen hävittämiseen tai loppusijoitukseen asti. Elinkaarimalli voidaan tehdä yhdestä tuotteen elinkaaren vaiheesta, jolloin tarkastelu jää varsin suppeaksi. Tällöin voidaan tarkastella esimerkiksi eri materiaalien ympäristövaikutuksia tietyssä tuotteen elinkaaren vaiheessa. (VTT)

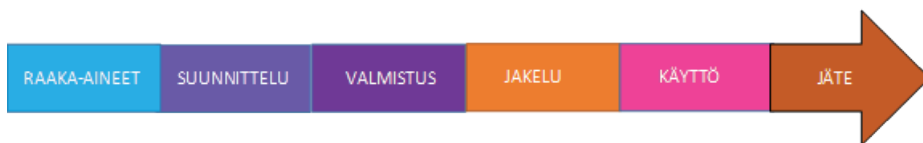
Elinkaaritarkastelu voidaan toteuttaa myös laajemmin, jolloin voidaan tarkastella koko tuotteen tai prosessin elinkaaren vaiheita. Tuotteen laaja-alainen elinkaarianalyysi kattaa raaka-aineen hankkimisen, energialähteiden hankinnan, kuljetukset, väli- ja lopputuotteiden valmistuksen, käyttövaiheen, päästöt ilmaan, veteen ja maaperään sekä tuotteen elinkaaren loppupään vaiheet eli loppusijoituksen tai mahdollisesti materiaalin kierrättämisen. (VTT) Elinkaarimalleja voidaan luoda pelkkien ympäristövaikutusten arvioinnin lisäksi myös taloudellisesta tai sosiaalisesta näkökulmasta. Usein elinkaarimalli rajataan koskemaan vain tiettyä osaa elinkaaren vaiheista. (European Commission 2016) Elinkaarimallintaminen on kehittynyt kattavaksi ympäristövaikutusten arviointimenetelmäksi 1980- ja 1990-lukujen aikana irtauduttuaan energiavirtojen analysoinnista 1970-luvulla. Elinkaarimallintamisen periaatteet ja laskentavaatimukset on määriteltä ISO 14040- ja ISO 14044 -standardeissa. Standardien lisäksi on olemassa myös muita laskentaa yhtenäistäviä ja lisäohjeita sisältäviä oppaita. (VTT)

Tuotantoketjut ovat usein rakenteeltaan monimutkaisia, ja siksi niiden ympäristövaikutusten määrittäminen voi olla käytännön tasolla haasteellista. Tämän vuoksi elinkaarimallin rakentaminen aloitetaan määrittämällä tutkittavan järjestelmän rajat. Järjestelmärajaus tarkoittaa tutkimukseen sisällytettävien ja sen ulkopuolelle jätettävien vaikutusten sekä tuotantovaiheiden määrittämistä. Lopputulosten tulkinnan kannalta on tärkeää määrittää, mitä yksikköä kohden tarkastelu on toteutettu. Energiantuotannossa, kuten biopolttoaineita tarkasteltaessa, yksikkö voi olla esimerkiksi megawattitunti (MWh) polttoainetta. Prosesseissa, joissa syntyy erilaisia sivutuotteita, esimerkiksi biokaasun tuotannossa, on syytä määrittää, miten päästöt allokoidaan eli kohdennetaan eri tuotteille.

ISO-standardit ohjaavat elinkaari-inventaario- ja vaikutustenarviointivaiheita. Elinkaarimallin tekijällä on kuitenkin aina vastuu mallin tulkinnanvaraisuudesta. Malli tulisi toteuttaa siten, ettei siihen jää avoimia kysymyksiä tai muita todentamattomissa olevia asioita. Elinkaarimallin laatija joutuu tekemään tietoisia valintoja, jotka tekevät tuloksesta jossain määrin subjektiivisen. Tämän vuoksi on erityisen tärkeää, että kaikki lähtöoletukset ja rajaukset on kerrottu avoimesti mallista raportoitaessa. (VTT)

MINKÄLAISIA ELINKAARIMALLEJA ON OLEMASSA?

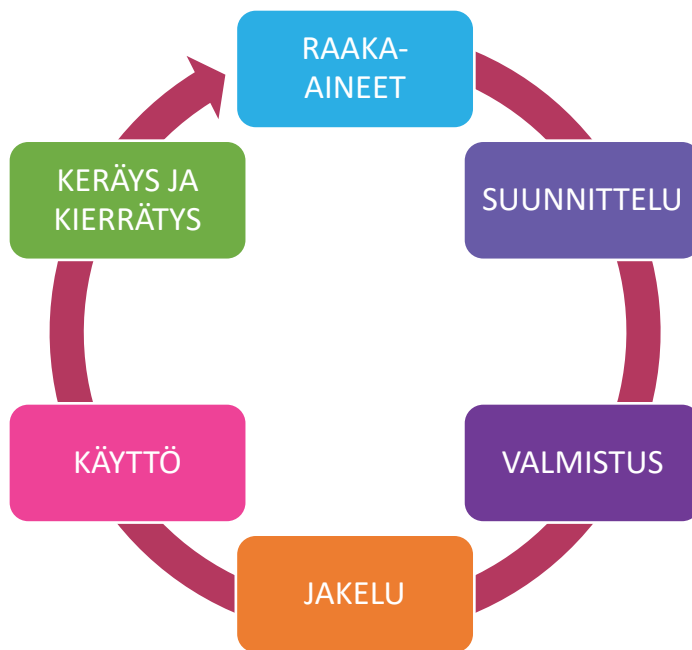
Elinkaarimalleja on olemassa kahta eri päätyyppiä, lineaarinen ja kiertotalousmalli. Lineaarista mallia (kuva 1) kutsutaan kehdestä hautaan -malliksi, jonka laskennassa huomioon otettavat vaiheet ovat raaka-aineet, suunnittelu, valmistus, jakelu, käyttö ja jäte.



KUVA 1. Elinkaaren lineaarinen malli (Massinen).

Lineaarinen malli on perinteinen talouden malli, jossa hyödykkeen ajatellaan päätyvän valmistuksen ja käytön jälkeen hävitettäväksi sellaisenaan. Malli edellyttää suuria määriä helposti saatavilla olevaa edullista raaka-ainetta ja energiaa. (Sitra 2015). Tämä on seurausta halvoista ja runsaista luonnonvaroista, joita yritykset ovat voineet hyödyntää rajattomasti tuottaessaan uusia tuotteita (Virta 2017). Tässä toimintamallissa hyödykkeet on suunniteltu vanhenemaan. Hyödykkeiden suunnittelussa ei esimerkiksi ole otettu huomioon tuotteen kierrätysmahdollisuutta tai tuote on suunniteltu siten, ettei rikkoutuneen tuotteen korjaaminen ole esimerkiksi taloudellisesti järkevää. (Sitra 2015)

Uusiutumattomien luonnonvarojen hupertessa ja hintojen noustessa kiertotalous on korvaamassa lineaarista talousmallia. Kiertotalousmallin vaiheet on esitetty kuvassa 2. Kiertotalouden tavoitteena on luoda järjestelmä, jossa materiaalien arvo säilyy tai jopa kasvaa, materiaali pidetään pitkään tuottavassa käytössä ja uudelleenkäyttö toteutetaan tehokkaasti. Jätteettömän järjestelmän ajatus perustuu siihen, että jo tuotteiden suunnitteluvaiheessa otetaan huomioon materiaalien eroteltavuus, kierrätettävyys sekä jätteen synnyn ehkäisy. Kiertotalouden tavoitteena on vähentää neitseellisten raaka-aineiden kulutusta ja ympäristövaikutuksia. Kiertotalouden avulla tavoitellaan myös positiivisen talouskasvun tuottoa. (Sitra)



KUVA 2. Elinkaaren kiertotalousmalli (Massinen).

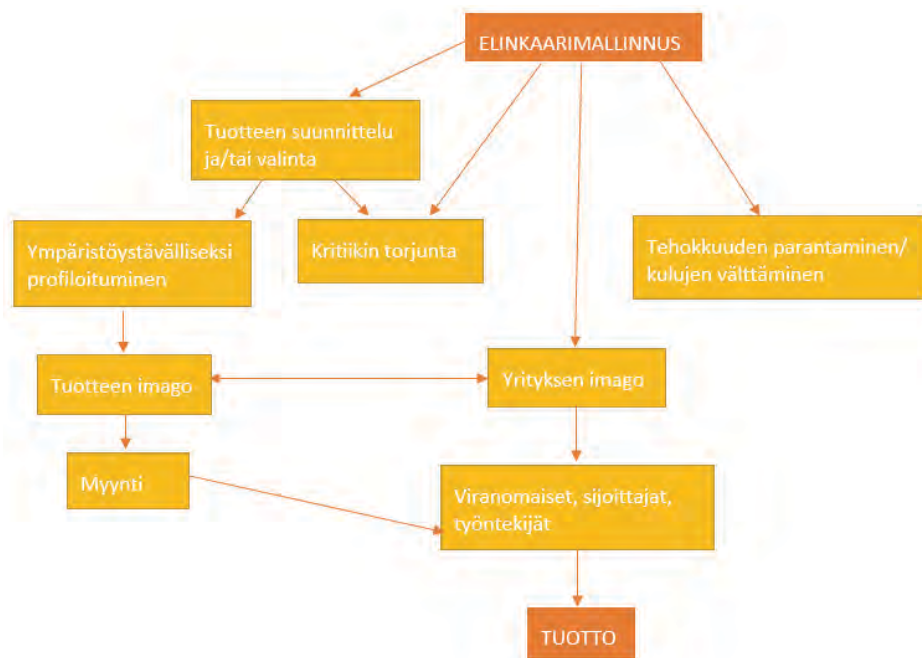
MISTÄ TUOTTEISTA TAI TOIMINNOISTA ELINKAARIMALLEJA VOIDAAN TEHDÄ? VAIHEET MALLIN TEKEMISEKSI

Elinkaarimalleja voidaan tehdä lähes mistä tahansa tuotteesta tai toiminnosta. Malli voidaan rakentaa esimerkiksi logistiikka- ja jakeluketjusta, vaatteesta, mutta myös työsuhteen elinkaari on määritettävissä. Elinkaarimallintamiseen liittyvät pääpiirteet ovat tavoitteiden ja soveltamisalan määrittely, inventaarioanalyysi, vaikutusarviointi sekä tulosten tulkinta. Elinkaarimallin rakentaminen lähtee liikkeelle alkukartoituksella ja tiedonkeruulla. Teknisen tarkastelun ja yksikköprosessien määrittelyn jälkeen alkaa mallin kokoaminen, joka tehdään yleensä jonkin mallinnusohjelman avulla.

MIHIN ELINKAARIMALLINTAMISTA VOIDAAN KÄYTTÄÄ?

Lainsäädännöllä on iso merkitys elinkaarimallintamisen käytettävyyteen. Jotta lainsäädäntöä voidaan ohjata ympäristöystävällisempään suuntaan, päättäjillä on oltava hyvä kokonaisnäkemys eri vaihtoehtojen kokonaisseurauksista. Lainsäädännön myötä tuotteiden sisällöistä ja ympäristövaikutuksista on esitettävä yhä tarkempia tietoja. Lisäksi hyvin perustelluilla ja mahdollisimman laaja-alaisilla selvityksillä on mahdollisuus vaikuttaa siihen, mille tasolle uudet raja-arvot asettuvat.

Elinkaarimallinnusta voidaan käyttää muun muassa yritysten markkinointiin sekä yleisen päätöksenteon tueksi. Hyvin tehdyn selvityksen avulla voidaan perustella esimerkiksi jokin uuden tuotteen käyttöönotto, jos sen arvot vastaavat valittua tavoitetasoa. Mallintamisen tuloksilla voi olla vaikutusta markkinoilla menestymiseen ja siten yrityksen kannattavuuteen. Hyvin perustelluilla tuloksilla ja siten toteutetuilla kehitystoimilla voi olla vaikutusta myös imagon kannalta. Kuvassa 3 on kuvattu, miten mallintaminen, toimintojen profiloituminen sekä yritysimage linkittyvät toisiinsa.



KUVA 3. Elinkaarimallinnuksen käyttökohteet yritysmaailmassa (Massinen).

MALLINTAMISEN ETUJA

Mallintamisen etuna on, että lähes mikä tahansa tuotantoprosessi voidaan mallintaa ja näin tuottaa hyödyllistä tietoa. Tarkasteltavien prosessien tarpeiden vaihdellessa on malli hyvin skaalattavissa ja räätälöitävissä tapauskohtaisesti. Mallintamisen tuloksena saadaan numeerisia tuloksia esimerkiksi energia- ja materiaalivirtojen hallinnasta. Tarkastelussa voidaan ottaa huomioon esimerkiksi massataseet, kierrätysasteet sekä kulutus.

Kierrätystaseen määrittäminen on nousemassa yhä tärkeämpään rooliin materiaalitarkastelujen yhteydessä. Ympäristövaikutukset ovat tulosten muodossa eroteltavissa esimerkiksi päästöihin ilmaan, veteen ja maaperään, ilmastonmuutosta aiheuttaviin ilmiöihin, rehevöitymiseen sekä happamoitumiseen. Elinkaariselvityksessä pystytään tuomaan esille muun muassa eri prosessien, ilmiöiden ja tuotteiden valmistukseen liittyvä luonnonvarojen käyttö ja arvioimaan sitä ravinnekierron ja uusiutuvien raaka-aineiden käytön osalta.

Mallissa voidaan tarkastella myös talousnäkökulmaa, jolloin investointien suuruus, takaisinmaksuajat ja käyttökustannukset ovat määritettävissä ennalta (YIT). Tämä onkin suunta, johon etenkin rakennuslalla ollaan menossa. Rakennusvaiheen suunnittelussa elinkaarimallinnusta voidaan käyttää esimerkiksi käyttökustannusten arviointiin.

Elinkaarimallintaminen luo mahdollisuuden tarkastella tulevaa ja luoda lähes rajattoman määrän skenaarioita tulevaisuuden ratkaisuisista. Kokonaisvaltaisen mallintamisen avulla voidaan esimerkiksi sulkea pois tiettyjä vaihtoehtoja jo ennen varsinaisten toteutus päätösten tekemistä. Mallintamisen myötä voidaan saavuttaa parempi kokonaisnäkemys suuresta kuvasta ja lisätä päätöksenteossa tarvittavaa ymmärrystä.

ELINKAARIMALLINTAMISEN SOVELTAMINEN KIERTOTALOUDESSA

Elinkaarimallintamisen pääperiaatteet soveltuvat käytettäväksi myös kiertotalouden sovelluskohteissa. Elinkaarimallintamisen keinoin voidaan hallita ja kehittää materiaali- ja energiavirtojen kokonaisuuksia. Tiedon ja ymmärryksen lisääntyessä tulevaisuuden skenaarioiden tarkastelu helpottuu, ja sen avulla tuotettua tietoa voidaan tuoda osaksi päätöksentekoprosessia.

Mallintamisen avulla voidaan vastata kiertotalouden haasteisiin kokonaistarkastelun keinoin. Tämä tarkoittaa materiaali- ja energiavirtojen, luonnonvarojen käytön, ympäristövaikutusten sekä kustannusten hallintaa, tarkastelua ja optimointia. Sovellettaessa elinkaarimallinnusta kiertotalouden haasteisiin voi lopputuloksena olla käyttöön otettavien raaka-aineiden väheneminen, päästöjen hillintä, lisääntynyt kierrätys ja uudelleenkäyttö sekä lisääntyneet suljetut raaka-aineiden kierrot. Mallintamisen avulla voidaan löytää myös ratkaisuja energiantuotantomuotojen valintaan sekä kokonaisvaltaiseen käsitykseen energiankulutuksesta ja sen haasteista.

ELINKAARIOSAAMINEN – SOVELTAMINEN BIOKASVU-HANKKEESSA

Biokasvu-hankkeessa on pyritty vahvistamaan ja konkretisoimaan osaltaan merkittävästi alueellista ja kansallista verkottunutta kehittämistyötä ja kasvukosysteemiä, jossa yritykset kehittävät ja testaavat uusia tuotteita, teknologioita ja liiketoimintoja. Hanke on pyrkinyt lisäämään Xamk Kuitulaboratorion osaamista ja yritysysteistyötä muun muassa kiertotalouden ja elinkaariosaamisen ratkaisuisissa projektin toimialalla. Lähtökohtana on ollut kartoittaa kiertotalouden, teollisten symbioosien ja elinkaarijattelun mahdollisuuksia, haasteita ja kehityskohteita sekä tarpeita Savonlinnan yritysten kehittämisessä. Lisäksi tavoitteena on ollut tuottaa positiivisia talousvaikutuksia.

Hankkeen puitteissa toteutettiin yrityshaastatteluja paikallisten puunjalostusteollisuuden sivuvirtoja hyödyntävien sekä puunjalostusteollisuuden prosesseihin ja komponentteihin erikoistuneiden yritysten kanssa. Keskusteluissa havaittiin, että elinkaarimallintaminen oli melko vieras käsite, eikä sen tarjoamista mahdollisuuksista oman yrityksen toiminnan osalta oltu juurikaan tietoisia. Selvää tietopuutosta oli siis havaittavissa.

Tarkoituksenamme oli tarjota yritysten edustajille mahdollisuus saada lisätietoa elinkaarimallintamisesta: mitä se tarkoittaa, miten/mihin sitä voidaan hyödyntää ja mitä käyttökohteita ja -mahdollisuuksia sillä on teollisessa yritysympäristössä. Tätä varten hankkeessa toteutettiin elinkaarimallintamista koskeva yleinen yhden päivän koulutuspäivä. Lisätäksemme yritysten tietoisuutta elinkaarimallintamisesta tarjosimme yrityksille mahdollisuutta osallistua jonkin heidän toimintaansa liittyvän prosessin mallintamiseen.

Mallinnuskohteita löytyi kaksi, joista toiselle toteutettiin tuotantoprosessin kokonaisvaltainen tarkastelu kolmen eri skenaarion avulla. Toinen mallinnuskohde liittyi Xamk Kuitulaboratorion aiemmin toteutettuun hankkeeseen (BIOSAHA-hanke). Mallinnus toteutettiin Sulca®-elinkaarimallinnusohjelman avulla.

SULCA®-LCA-ohjelmisto kattaa koko elinkaariarvioinnin aikaisen mallinnuksen ja laskemisen aina virtauskaavion rakentamisesta inventaarioanalyysiin ja vaikutusarviointeihin. Laskennan tuloksia voidaan tarkastella ja esitellä monipuolisesti erilaisten taulukkojen ja graafien avulla. SULCA®-ohjelmistossa on mahdollisuus käsitellä monimutkaisia ja kompleksisia elinkaaria, jolloin suurien kokonaisuuksien tarkastelu helpottuu. SULCA®-ohjelmistoa on myyty 19 maahan, ja sitä käytetään niin teollisuudessa, yliopistoissa, tutkimuslaitoksissa kuin yrityksissäkin. (VTT, 2)

LÄHTEET

European Commission. 2016. European Platform on Life Cycle Assessment (LCA). Verkkodokumentti. Saatavissa: <http://ec.europa.eu/environment/ipp/lca.htm>. [Viitattu 23.10.2019]

Rabitzer, G., Ekvall, T., Frischknecht, R., Hunkeler, D., Norssit, G., Rydberg, T., Schmidt, W.-P., Suh, S., Weidema, B.P. & Pennington, D.W. 2004. Verkkootikkeli. Life Cycle Assessment: Part 1: Framework, goal and scope denition, inventory analysis, and applications. Environmental International Vol 30, p. 701-720. Saatavissa: <https://pdfs.semanticscholar.org/26b2/d0a4f854d3ecd7c6ce24872dcec06ce91018.pdf>. [Viitattu 23.10.2019.]

Sitra. Kiertotalous teollisuudessa. WWW-sivu. Saatavissa: <https://www.sitra.fi/uutiset/uraa-uurtava-selvitys-osoittaa-ilmasto-ongelmaan-keskeisen-ratkaisun/>. [Viitattu 24.10.2019.]

Sitra, 2015. Verkkodokumentti. Saatavissa: <https://image.slidesharecdn.com/ttananipajune-n0112201504-151208112421-lva1-app6892/95/nani-pajunen-materiaalikehityksen-ja-tuotesuunnittelun-rooli-kiertotaloudessa-6-638.jpg?cb=1449574148>. [Viitattu 24.10.2019.]

Virta, M. 2017. Kiertotalouden opettaminen. Opinnäytetyö. Saatavissa: https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/134500/Virta_Marketta.pdf?sequence=1&isAllowed=y. [Viitattu 24.10.2019.]

VTT. Sopiiko elinkaariarviointi poliittisen päätöksenteon tueksi? WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.vtt.fi/Impulssi/Pages/Sopiiko-elinkaariarviointi-poliittisen-p%C3%A4%C3%A4t%C3%B6ksenteon-tueksi.aspx>. [Viitattu 24.10.2019.]

VTT, 2. VTT SULCA elinkaarilaskentaohjelma ja sen käyttö. Verkkodokumentti. Saatavissa: <https://www.lyyti.fi/att/05b6520844e/73907ba1E3ddE5D3c3A7066bAfF0F-69b605521a6390b3c24eA1f9DCfb/0>. [Viitattu 30.10.2019.]

YIT. Elinkaarimallin hyödyt. WWW-sivu. Saatavissa: <https://www.yit.fi/elinkaaripalvelut/elinkaarimallin-hyodyt>. [Viitattu 28.10.2019.]

NESTEKROMATOGRAFIA UUDEN TUTKIMUKSEN MAHDOLLISTAJANA XAMKISSA

Jenna Raunio & Noora Haatanen

Nestekromatografia (HPLC) ja ionikromatografia (IC) mahdollistavat monien ympäristön ja biojalostamoiden prosessien kannalta tärkeiden orgaanisten ja epäorgaanisten yhdisteiden mittaamisen vesistä. Jäte- ja prosessivesien tutkimuksen vahvistamiseksi Xamkin Kuitulaboratorioon on hankittu HPLC- ja IC-laitteistot. Kromatografilaitteisto erottelee näytteen sisältämät kemikaalit toisistaan, ja erotellut kemikaalit tunnistetaan detektoreilla, joita on neljä erilaista: massaspektrometri, johtokyky-, UV-vis- ja amperometrinen detektori.

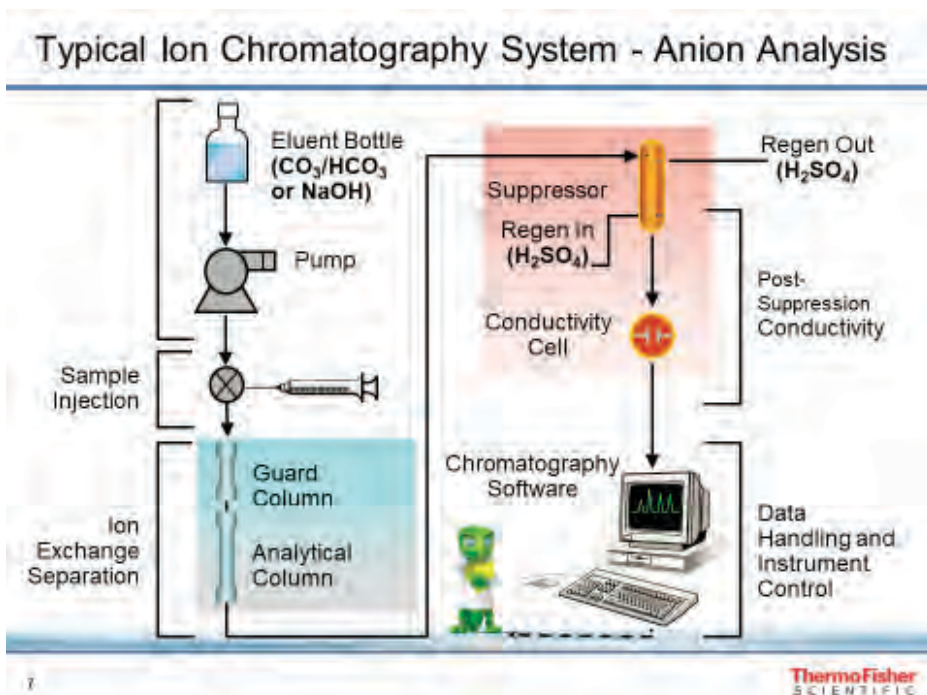
Näiden hankintojen myötä Kuitulaboratorion ja laajemmin Xamkin kyky osallistua muun muassa biojalostamoprosesseja sekä prosessi- ja jätevesiä tutkiviin hankkeisiin parantuu selvästi. Lisäksi paranee kyky palvella asiakkaita ja yhteistyökumppaneita.

OKM-KÄRKIHANKE

Bioproduct and Clean Bioeconomy- RDI FlagShip in XAMK -projektin tavoitteena on lisätä Xamkin ja sen strategisten yhteistyökumppanien, erityisesti Luonnonvarakeskuksen (LUKE) ja Aalto-yliopiston sekä teollisuuden välistä yhteistyötä sekä parantaa laitekantaa seuraavilla strategisesti tärkeillä osa-alueilla: biohiili, biojalostamon jätevedet sekä selluloosajohdannaiset. Toimenpiteillä pyritään kasvattamaan biotuotteisiin ja puhtaaseen biotalouteen liittyvän TKI-toiminnan vaikuttavuutta sekä kehittää uusia tuotteita ja prosesseja. Rahoittajana toimii opetus- ja kulttuuriministeriö.

JOHDANTO IC- JA HPLC-TEKNIIKOIHIN

Jätevesi- ja prosessivesitutkimusten mahdollistamiseksi projektissa on hankittu kaksi laitteistoa: ionikromatografi (IC) ja korkean erotuskyvyn nestekromatografi (HPLC). Laitteistojen perustoimintaperiaatteet ovat samankaltaiset. Kummassakin näyte syötetään laitteistoon liuksena, ja liuotin eli eluentti työntää näytteen kolonnin läpi, jossa eri kemikaalit eli analyytit erottuvat toisistaan joko niiden poolisuuden (HPLC) tai ionisuuden (IC) (Barron & Gilchrist 2014) mukaan. Erottuneet analyytit päätyvät detektoriin, jossa ne mitataan. Kuva 1 esittää tyypillisen ionikromatografisysteemin toimintaperiaatteen.



KUVA 1. Tyypillisen ionikromatografisysteemin toimintaperiaate. Kuva on julkaistu ThermoFisher Scientificin luvalla.

Xamkin Kuitulaboratoriolla on tällä hetkellä neljä detektoria: massaspektrometri, UV-vis-, johtokyky- ja amperometrinen detektori. Massaspektrometri on hyvä yleistyökalu, jolla saadaan selville useimpien kemikaalien molekyyllipaino. UV-vis-detektori on sopiva kaikkien sellaisten kemikaalien mittaamiseen, joissa on ns. kromoforisia ryhmiä, eli ne pystyvät absorboimaan UV- tai näkyvää valoa (Hyvärinen et al. 2014). Johtokykydetektori mittaa johtokykyä ja on siten sopiva useimpien ionien mittaamiseen. Amperometrinen detektori perustuu hapetus-pelkistys-reaktioihin, ja se on sopiva erityisesti sakkariidien eli sokereiden mittaamiseen. (Bruggink et al. 2005)

UV-vis-detektori tai johtokykydetektori on myös mahdollista kytkeä sarjaan massaspektrometrin kanssa. Tällöin samasta ajosta saadaan mitattua sekä analyyttien molekyyllipaino että niiden UV-vis- tai johtokykyinformaatio. Erityisesti monimutkaisten näytteiden kanssa tämä antaa lisää varmuutta siitä, että mitattu analyytti todella on se, mistä ollaan kiinnostuneita. Kaikilla detektoreilla saadaan määritettyä analyytit kvantitatiivisesti, kunhan saatavilla on puhtaita standardeja, joilla voidaan tehdä kalibrointikäyrät.

Nämä laitteet mahdollistavat hyvin monien kemikaalien tarkan määrittämisen vaikeistakin näytteistä. Jotta mittaus onnistuu, on tiedettävä, mitä ainetta näytteestä etsitään ja mitä

haitallisia aineita näytteessä mahdollisesti on. Esimerkiksi ligniini on ongelmallinen, koska se vähentää kolonnien elinikää, mutta sopivalla näytteen esikäsitteilyllä ja esikolonnien valinnalla ongelmia voidaan ehkäistä. IC-laitteistolla voidaan suhteellisen helposti mitata alkali- ja maa-alkalimetalleja sekä monia epäorgaanisia anioneja ja orgaanisia karboksyylihappoja. Myös siirtymämetalli-ionien, kuten raudan ja alumiinin, mittaaminen onnistuu, mutta se on hieman vaikeampaa, koska näytteeseen pitää lisätä kolonnin jälkeinen reagenssi, joka värjää metalli-ionin (Ding et al. 2000).

Sokerien ja muidenkin aineiden mittaamisessa on tärkeää huomioida, että kemikaalin pitää olla riittävän pieni, jotta kolonnit ja detektorit toimivat oikein. Tämän vuoksi polymeerejä ei näillä laitteilla voida tutkia, mutta esimerkiksi polysakkaridit voidaan pilkkoa entsymaattisesti tai kemiallisesti mono- tai disakkarideiksi, jolloin saadaan mitattua polymeerin muodostamien sakkariidien suhteet. Myös oligosakkaridien mittaaminen on mahdollista, mutta se on haastavampaa, koska erilaisia sakkariideja näkyy silloin mittaamisessa paljon. Polymeereihin sitoutuneet analyytit, kuten selluloosaan sitoutunut heksauronihappo, pitää myöskin irrottaa samaisilla tekniikoilla ennen kuin niitä voi mitata. Sakkariidien tapauksessa tutkittavat sokerit voi olla eroteltu esimerkiksi selluloosasta, tärkkelyksestä, selluloosajohdannaisista tai hemiselluloosasta. (Bruggink et al. 2005)

HPLC kytkettynä UV-vis-detektoriin ja massaspektrometriin mahdollistaa hyvin monien orgaanisten kemikaalien tutkimuksen, kunhan niiden molekyyliainepaino on riittävän pieni (<1250 Da) ja ne absorboivat joko UV-vis-aallonpituuksia tai ne voidaan ionisoida massaspektrometrissä (MS). Kuitulaboratorion MS:ssä ionisaatio tehdään elektronisuihkuionisaatiolla (electrospray ionization, ESI), joka on ns. *pehmeä ionisoimismenetelmä* (Richardson & Gorton, 2003). ESI mahdollistaa monien kemikaalien ionisoimisen rikkomatta niitä, mikä on tärkeää oikean moolimassan määrittämisen kannalta. Biojalostamoissa syntyy esimerkiksi halogenoituja orgaanisia aineita (AOX), jotka pystytään mittaamaan edellä mainitun kaltaisella HPLC-systeemillä. (Lacorte et al. 2003) Muita esimerkkejä HPLC:llä analysoitavista aineista biojalostamoiden kontekstissa ovat surfaktantit, rasvahapot, ligniinin monomeerit, hartsihapot ja tanniinit. Pienimolekyylisten, helposti haihtuvien orgaanisten aineiden (VOC), kuten etanolin, analysointiin suositellaan kaasukromatografiaa, mutta HPLC:lläkin niitä voidaan mitata, jos kvantitatiivisuudessa sallitaan suurempi epävarmuus ja kunhan ne ovat liukoisia eluenttiin (López & Gómez 1996).

Näytteenvalmistelu on avainasemassa, jotta tulos on luotettava. Näyte pitää säilyttää siten, että analyytit eivät pääse esimerkiksi haihtumaan liuoksesta. Myös näytteenoton jälkeinen saostuminen, liukeneminen tai kemialliset reaktiot on otettava huomioon. Esimerkiksi nitriitti NO_2^- voi hapettua nitraatiksi NO_3^- hapen, mikro-organismien tai valon vaikutuksesta (Somnam et al. 2008). Kaikki kiintoainetta pitää suodattaa pois 0,2–0,45 μm :n ruiskusuodattimella ennen mittausta, jotta laite ei likaantuisi.



KUVA 2. Kuitulaboratorion kromatografilaitteistot. Osat vasemmalta oikealle: HPLC, MS, IC ja puhdasvesigeneraattori (kuva Jenna Raunio).

IC JA HPLC TUTKIMUSTYÖSSÄ

Koska näillä laitteistoilla voidaan mitata hyvin monia kemikaaleja sekä kvalitatiivisesti että kvantitatiivisesti, laajenee huomattavasti Kuitulaboratorion kyky osallistua uusiin tutkimushankkeisiin, joissa tutkitaan biojalostamoiden prosesseja ja jätevesiä. Samalla myös lisääntyy kyky palvella asiakkaita ja yhteistyökumppaneita.

Työajallisesti eniten panostusta kuluu uusien menetelmien käyttöönotossa. Yleisesti ottaen jokaisen uuden kemikaalin kohdalla pitää etsiä kirjallisuudesta sopiva menetelmä, josta voidaan kopioida parametrit ja kokeilla, miten ajo toimii käytettävässä laitteessa. Lisäksi pitää hankkia puhdasta standardikemikaalia kalibrointeja varten. Vaihtelevat näytematriisit (analyytit + kaikki muut aineet) aiheuttavat myös lisää työtä, jos kiinnostavan analyytin kanssa eluoiuuokin jokin muu aine päällekkäin. Tällöin menetelmää pitää hienosäätää ja etsiä uudet parametrit iteroimalla, jotta aineet saadaan erotettua paremmin. Käytännössä tämä tarkoittaa esimerkiksi kolonnin vaihtoa tai liuottimen (eluentti) koostumuksen muuttamista. Massaspektrometri helpottaa tätä prosessia, koska sen avulla saadaan varmuus siitä, eluoiutuuko useampi eri kemikaali yhtä aikaa. Sen sijaan esimerkiksi johtokyky ei tällaista informaatiota anna. Kun menetelmä on saatu toimivaksi, sitä voidaan toistaa helposti suu- rellekin näytemäärälle pitkän aikaa, ja työaika kuluu vain tulosten raportointiin.

Vuoden 2020 aikana tavoitteena on saada rahoitus biojalostamon uuden sukupolven vedenkäsittelyjärjestelmän tutkimushankkeelle. Kyseinen kromatografialaitteisto mahdollistaa aikai-

sempää tarkemman analysoinnin ja näin ollen prosessikehityksen nostamisen uudelle tasolle.

LÄHTEET

Barron, L., Gilchrist, E., Ion chromatography-mass spectrometry: A review of recent technologies and applications in forensic and environmental explosives analysis, *Analytica Chimica Acta*, 806(2014), pp. 27–54, <https://doi.org/10.1016/j.aca.2013.10.047>.

Bruggink, C., Maurer, R., Herrmann, H., Cavalli, S., Hoeffler, F., Analysis of carbohydrates by anion exchange chromatography and mass spectrometry, *Journal of Chromatography A*, 1085(1), (2005), pp. 104–109, <https://doi.org/10.1016/j.chroma.2005.03.108>.

Ding, X., Mou, S., Liu, K., Siriraks, A., Riviello, J., Ion chromatography of heavy and transition metals by on- and post-column derivatizations, *Analytica Chimica Acta*, Volume 407, Issues 1–2, 2000, Pages 319–326, ISSN 0003-2670, [https://doi.org/10.1016/S0003-2670\(99\)00798-9](https://doi.org/10.1016/S0003-2670(99)00798-9).

Hyvärinen, S., Mikkola, J.P., Murzin, D., Vaher, M., Kaljurand, M., Koel, M., Sugars and sugar derivatives in ionic liquid media obtained from lignocellulosic biomass: Comparison of capillary electrophoresis and chromatographic analysis, *Catalysis Today*, Volume 223, 2014, Pages 18–24, ISSN 0920-5861, <https://doi.org/10.1016/j.cattod.2013.08.015>.

Lacorte, S., Latorre, A., Barceló, D., Rigol, A., Malmqvist, A., Welander, T., Organic compounds in paper-mill process waters and effluents, *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, 22(10), (2003), pp. 725–737, [https://doi.org/10.1016/S0165-9936\(03\)01009-4](https://doi.org/10.1016/S0165-9936(03)01009-4).

López, E., Gómez, E., Simultaneous Determination of the Major Organic Acids, Sugars, Glycerol, and Ethanol by HPLC in Grape Musts and White Wines, *Journal of Chromatographic Science*, Volume 34, Issue 5, May 1996, Pages 254–257, <https://doi.org/10.1093/chromsci/34.5.254>.

Richardson, S., Gorton, L., Characterisation of the substituent distribution in starch and cellulose derivatives, *Analytica Chimica Acta*, Volume 497, Issues 1–2, 2003, Pages 27–65, ISSN 0003-2670, <https://doi.org/10.1016/j.aca.2003.08.005>.

Somnam, S., Jakmunee, J., Grudpan, K., Lenghor, N., Motomizu, S., Determination of Nitrite and Nitrate in Water Samples by an Automated Hydrodynamic Sequential Injection Method, *Analytical Sciences*, 2008, Volume 24, Issue 12, Pages 1599–1603, Released December 11, 2008, Online ISSN 1348-2246, Print ISSN 0910-6340, <https://doi.org/10.2116/analsci.24.1599>.

VAAHDONESTOAINEEEN VAIKUTUS ILMAPITOISUUTEEN JA HAPPI- VAIHEEN PESUREIDEN TOIMINTAAN SELLUTEHTAAN KUITULINJALLA

Riku Kopra & Jari Käyhkö

Ruskean massan pesureilla vaahdonestoaineiden tarkoituksena on estää vaahdonmuodostusta, vähentää kuituihin kiinnittynyttä ilmaa ja täten parantaa massakakun muodostusta ja ennen kaikkea suotavuutta, jotta pesuri toimisi mahdollisimman tehokkaasti. Toiseksi kasvava ilmapitoisuus massassa alentaa pesulaitteen kapasiteettia. Kuitujen mukana kulkeva vapaa ilma voi muodostaa pysyvää vaahtoa, joka tukkii virtauskanavia ja rikkoutuessaan flokkuloi epäpuhtauksia, jotka kerääntyvät kupliin.

Tässä työssä tutkittiin kahden eri vaahdonestokemikaalin sekä niiden eri annostelupaikkojen vaikutusta massan ilmapitoisuuteen ja sellutehtaan happivaihetta ympäröivien pesulaitteiden toimintaan. Seurannassa käytettiin reaaliaikaisia ilmapitoisuus- sekä liuennon kuiva-aineen mittausta sekä tehdasdataa. Tulokset osoittivat, että vaahdonestoaineella sekä annostelupaikalla on selkeä vaikutus pesulaitteiden toimintaan.

Tutkimustyö toteutettiin 1.1.2018 alkaneessa ja 31.12.2019 loppuvassa GasOpti-hankkeessa. Hankkeen päärahoittaja on Business Finland. Hankkeen muut kumppanit ovat Andritz Oy, Janesco Oy, Carbon Reuse Finland Oy, Solenis Oy, Metsäsairila ja Juvan Bioson.

JOHDANTO

Ruskean massan pesureilla vaahdonestoaineapplikaatioiden tarkoituksena on parantaa sellukakun muodostusta ja kontrolloida vaahtoa, jotta ylikuormitetut laitteet voivat pestä tehokkaasti (Wilson 2016). Nykyään suurin osa sellutehtaiden käyttämistä vaahdonestokemikaaleista on vesipohjaisia silikoniaineita. Myös öljypohjaisia vaahdonestokemikaaleja käytetään vielä yleisesti.

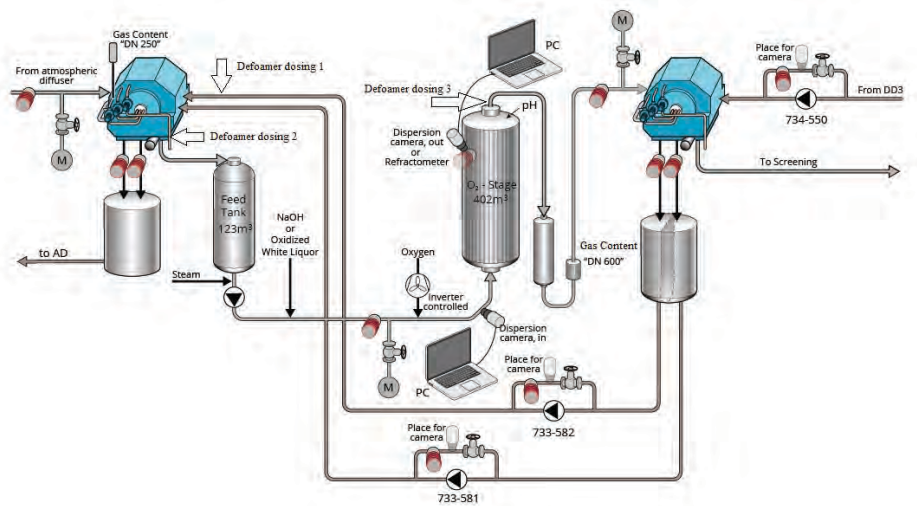
Massan sisältämä ilma haittaa suotavuutta. Hakamäki ja Kovasin (1985) totesivat, että laboratoriopesutesterin kapasiteetti laski 25 prosenttia, kun sellun ilmapitoisuus nousi 0:sta 5 prosenttiin. Kurtin (1981) mukaan kuitujen mukana kulkeva vapaa ilma voi muodostaa pysyvän vaahdon, joka tukkii virtauskanavia. Lisäksi hyvin pienet kuplat heikentävät suo-

tautuvuutta, koska kuplat blokkaavat tilan kuitujen välistä ja tekevät virtauksen vaikeammaksi kuituverkon läpi. Liuennut ilma pesusuodoksissa voi aiheuttaa myös kuplia, jotka vaikeuttavat suotautuvuutta jopa ideaalisissa olosuhteissa. Vaikka ilman/kaasun haitalliset vaikutukset pesun suoritukseen tiedetään, suurin osa tutkimustuloksista perustuu laboratoriokokeisiin (Hakamäki & Kovasin 1985, Wang et al. 2001), mutta vain muutama julkaistu tutkimus on perustunut jatkuviin mittauksiin (Dougherty 1989). Kuplakuvausmittarin käyttö yhdessä kaasupitoisuuden on-line-mittauksen kanssa luo uusia mahdollisuuksia mitata pesureihin menevän kaasun määrää, kuplien kokojakaamaa ja siten pitoisuuden muutosten vaikutusta pesurin suorituskykyyn (Mutikainen et al. 2015, Mutikainen et al. 2017, Käyhkö et al. 2018).

Pesu ennen happivaihetta on tärkeää, koska pesuhäviö kuluttaa happea ja alkalia happireaktorissa ja korkealla pesuhäviöllä on haitallisia vaikutuksia tavoiteltuun kappareduktioon (Andbacka 1998). Lisäksi korkealla pesuhäviötasolla mustalipeän sisältämän jäännösalkalin ja mustalipeän rikkiyhdisteiden eksotermitiset hapetusreaktiot voivat lisätä lämpötilaa reaktorissa reaktiovaiheen alussa ja siten aiheuttaa epäselektiivisiä reaktioita kuituun (Vuorenvirta et al. 2000).

MATERIAALIT JA MENETELMÄT

Tämän tutkimuksen kokeet tehtiin skandinaavisen sellutehtaan koivulinjalla, joka koostui jatkuvatoimisen keiton Hi-heat-pesusta, atmosfäärisestä diffusööristä (AD), yhdestä DD-pesurista ennen 1-vaiheista happivaihetta sekä toisesta DD-pesurista happivaiheen jälkeen. Tuotanto oli noin 2000 tonnia per päivä kokeiden ajan, kappatavoite keiton jälkeen 17 ja happivaiheen jälkeen 11 (hexan osuus oli noin 6). Koivulinjan happivaiheen mittausjärjestelyt on esitetty kuvassa 1.

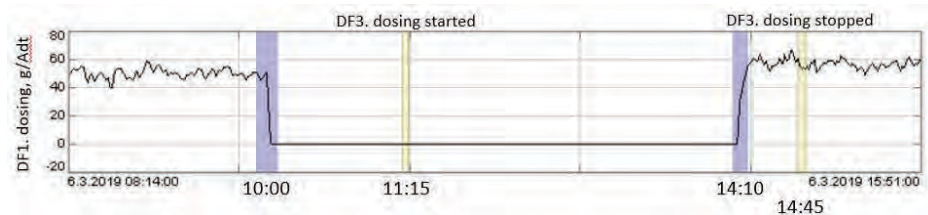


KUVA 1. Mittausjärjestelyt sellutehtaan koivulinjan happivaiheessa (kuva K-Patents Oy).

Tässä työssä askelvastekokeet suoritettiin yhden päivän aikana. Vaahdonestoaineen laatua ja annostelupaikkaa vaihdeltiin kokeissa. Normaalissa ajossa vaahdonesto annostellaan paikkoihin 1 ja 2 (ks. kuva 1). Annostelupaikka 1 on viimeinen pesusuodos DD1-pesurille ja annostelupaikka 2 on vakuumisuodos DD1-pesurilta. Normaalisti käytössä on öljypohjainen vaahdonestoaine. Tässä koeajossa testattiin vesipohjaista silikonivaahdonestoainetta annostelupaikassa 3. Kaasupitoisuutta monitoroitiin pääsääntöisesti käyttämällä Echowi-se™-kaasupitoisuusmittausta DD2-pesurin syöttömassassa. Lisäksi seurattiin pesurin rummun momenttia ja kierrosnopeutta, sakeuksia ja liuennon kuiva-aineen pitoisuuksia (TDS).

ASKELKOKKEET

1. Kello 10:00, öljypohjainen vaahdonestoaine annostelupisteisiin 1 ja 2 lopetettiin. Pisteeseen 2 annostelu korvattiin silikonipohjaisella.
2. Kello 11:15, silikoni vaahdonestoaineen annostelu aloitettiin pisteeseen 3.
3. Kello 14:10, annostelupaikat 1 ja 2 palautettiin normaaliin ajoon (öljypohjainen).
4. Kello 14:45, annostelu pisteeseen 3 lopetettiin.



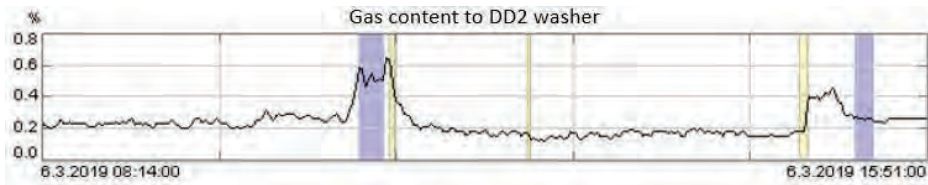
KUVA 2. Vaahdonestokemikaalien annostuksen ajoitus syöttöpisteissä 1 ja 3.

Massanäytteitä otettiin happivaiheen syötöstä ja DD2-pesurin poistosta. Suodosnäytteet puristettiin ulos massasta metalliviiran läpi 30 minuuttia näytteenoton jälkeen. Massanäytteiden kappaluku ja suodosten TDS-pitoisuus mitattiin myöhemmin laboratoriossa. Koska kappareduktiossa ei ollut suuria eroavaisuuksia, työssä keskityttiin kaasupitoisuuden vaikutukseen happivaiheen pesureihin.

TULOKSET

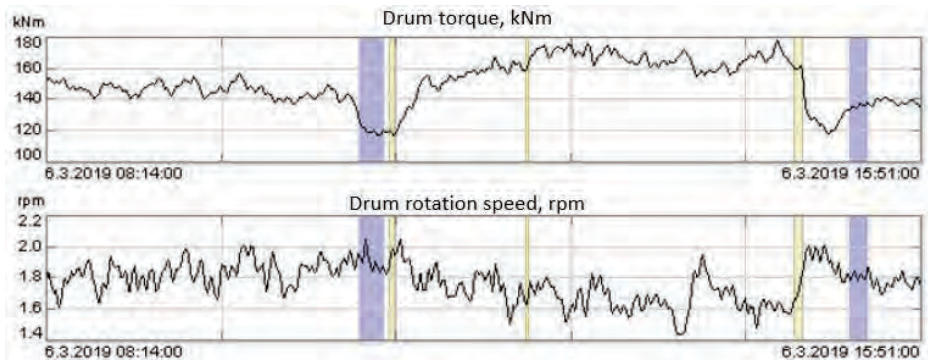
Kun annostelu pisteeseen 1 lopetettiin ja massa ilman vaahdonestoainetta tuli läpi O2-reaktorin, kaasupitoisuus DD2-pesurin syöttömassassa nousi 0,2 prosentista 0,6 prosenttiin. Kun vaahdoneston annostelu pisteeseen 3 aloitettiin, kaasupitoisuus laski tasolle 0,16–0,17, mikä oli alhaisempi kuin referenssitaso (ks. kuva 3). Annostelu pisteeseen 3, joka oli lähempänä DD2-pesuria kuin pisteet 1 ja 2, antoi parempia tuloksia uudella silikonipohjaisella vaahdonestoaineella kuin aiemmin normaalilla ajolla. Pidempiaikaisia kokeita kuitenkin

tarvitaan silikonipohjaisella aineella ja uudella annostelupisteellä, jotta muutokset kaasupitoisuudessa verrattuna normaaliin ajotapaan voidaan dokumentoida ja näin tarkastella happivaiheen ja pesurien toimintaa.



KUVA 3. Kaasupitoisuus DD2-pesurin syötössä askelkokeiden aikana.

Kun kaasupitoisuus DD2-pesurille laski, rummun momentti lisääntyi ja pyörimisnopeus laski (ks. kuva 4). Kaiken kaikkiaan pesurin toiminta rauhoittui ja ajoparametrit jäivät paremmalle tasolle. Myös poistomassan sakeus nousi. Tuloksena oli pesurin tehokkaampi toiminta.



KUVA 4. DD2-pesurin rummun momentti ja pyörimisnopeus askelkokeiden aikana.

JOHTOPÄÄTÖKSET

Ilmalla/kaasulla massan syötössä on selvä vaikutus pesulaitteen toimintaan, pääasiassa tehokkuuteen ja kapasiteettiin. Käyttämällä vaahdonestoainetta oikein negatiivisia sivuvaikutuksia voidaan vähentää. Uudet reaaliaikaiset mittausmenetelmät, kuten kuplakuvaus ja kaasupitoisuusmittaus, mahdollistavat muutostilanteiden seurannan, ja näin voidaan tehdä ajoparametrimuutoksia ajoissa, jos huomataan kaasupitoisuuden olevan nousussa. Lisäksi työssä esitellyn mittausjärjestelmän avulla voidaan reaaliajassa laskea pesurin tehokkuutta perustuen TDS-mittauksiin. Esitulokset kyseisistä tehokkuuslaskelmista julkaistaan lähitulevaisuudessa. Jotta voimme todentaa löydöksemme, tarvitaan kuitenkin lisää tutkimusta.

LÄHTEET

Wilson, R.E., The role of defoamer in brown stock washing, TAPPI 2016 Pulping, Engineering, Environmental, Recycling and Sustainability (PEERS) Conference, Tappi Press, Atlanta, Session 7-3 (2016).

Hakamäki H., and Kovasin K., The effect of some parameters on brown stock washing: A study made with a pulp tester. *Pulp & Paper Canada* 86(9):243–249 (1985).

Kurtz K.D., Effect of air on the pulp washer. Proc. of Tappi 1981 Engineering conference, Atlanta, GA, USA, 191–196 (1981).

Wang, J., Pelton, R, Hrymak, A.N., and Kwon, Y., New insights into dispersed air effects in brownstock washing, *TAPPI J.* 84(1):8 (2001).

Dougherty, S.J., On-line entrained air measurement for brownstock-washer defoamer control, *Tappi J.* 72(1): 50–54 (1989).

Mutikainen, H., Strikina, N., Eerola, T., Lensu, L., Kälviäinen, H., and Käyhkö J., Online measurement of the bubble size distribution in medium-consistency oxygen delignification, *Appita Journal*, 68(2): 159–164 (2015).

Mutikainen, H., Kopra, R., Pesonen, A., Hakala, M., Honkanen, M., Peltonen, K., and Käyhkö, J., Measurement, state and effect of gas dispersion on oxygen delignification, Proc. Of the International Pulp Bleaching Conference, Porto Seguro, BA, Brazil, p.57–61, (2017).

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.

Andbacka S., The importance of washing in oxygen delignification and TCF bleaching. *Pulp & Paper Canada* 99(3):57–60 (1998).

Vuorenvirta K., Fuhrmann A., Gullichsen J., Effect of black liquor carry-over on selectivity of oxygen delignification. Proc. of International Pulp Bleaching Conference, Halifax, Canada, 65–70 (2000).

KUPLAKOKO JA SEN MERKITYS HAPPIDELIGNIFIOINNISSA

Jari Käyhkö & Riku Kopra & Kari Peltonen

Kemiallisen massan valmistuksessa päätehtävänä on poistaa massasta ligniini. Merkittävä osuus tästä tapahtuu keiton ja valkaisu- väliin sijoittuvassa happidelignifiointivaiheessa, jossa liuotetaan noin puolet keiton jälkeen massassa kiinni olevasta ligniinistä. Kuitulaboratoriossa on tehty merkittävää tutkimusta aiheesta jo yli kymmenen vuoden ajan kiinteässä yhteistyössä Andritzin kuitulinjaryhmän kanssa (ks. viitteet). Työ on alkanut kaasumaisten kemikaalien sekoittamisesta, mutta kehitetyn uuden mittausmekaniikan, laboratorio- ja tehdaskokeiden sekä perustutkimuksen ansiosta se on laajentunut kattamaan koko happivaiheen toiminnan. Tutkimus koskee niin prosessin toteutusta kuin koko prosessin päivittäistä ajoa sekä prosessin seuranta- ja säätöä huomioiden myös happivaiheen ympärillä toteutettavat pesuvaiheet. Tärkein osa tutkimuksia on ollut happidispersi- on kuplakoon havainnointi tehtailla sekä kuplakoon merkityksen selvittäminen. Tässä artikkelissa kerrotaan kyseisten tutkimusten taustat, nykytilanne sekä merkittävimmät tulokset käytännön prosessien toteutuksen ja ajomallien osalta.

Artikkelin pohjana olevat tutkimukset on toteutettu pääosin jo päättyneessä FOKUDEMO/ Tekes-EAKR-hankkeessa sekä meneillään olevissa GasOpti- (rahoittajina Business Finland/ EAKR, Andritz Oy, Janesko Oy, Carbon reuse Finland Oy, Solenis Oy, Metsäsairila ja Juvan Bioson) sekä KuituMod-hankkeessa (rahoittajina Etelä-Savon Maakuntaliitto/EAKR, Pixact Oy, Janesko Oy, Andritz Oy).

TAUSTAA

Tutkimustyö aloitettiin varsinaisesti noin kymmenen vuotta sitten, jolloin Andritz Oy:n kanssa yhteistyössä toteutettiin kolme diplomityötä. Kyseisissä töissä selvitettiin kaasudispersi- on muodostusta panostoisella Mark-reaktorilla sekä Kuitulaboratorion MC-luupissa. Samalla kehitettiin kaasudispersi- on kuplakoon mittausmenetelmää. Näissä tutkimuksissa saatiin ensimmäisiä viitteitä siitä, millä alueella kuplakoko todennäköisesti on prosessissa. Lisäksi merkittävä havainto oli, että havupuumassalla saavutettava kuplakoko oli huomattavasti pienempi verrattuna lehtipuumassaan.

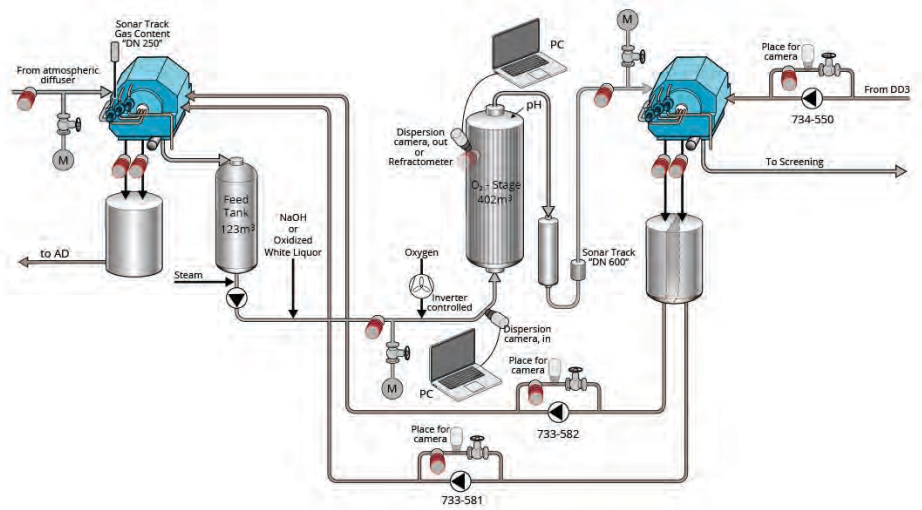
KUPLAMITTAUKSEN KEHITTÄMINEN JA TUTKIMUKSET HAVUPOULINJALLA

Tutkimuksia jatkettiin eräällä havupuulinjalla, jossa happidispersion kuplakokojakauma todennettiin ensimmäistä kertaa käynnissä olevasta prosessista sekä selvitettiin eri tekijöiden vaikutusta kuplakokoon (Mutikainen et al. 2014). Erinäisten vaiheiden jälkeen yhteistyössä Pixact Oy:n kanssa kehitettiin jatkuvatoiminen kuplakokojakauman in-line-mittausmenetelmä (Mutikainen et al. 2017). Menetelmällä kerättiin useiden kuukausien ajalta kuplamittausdataa ja yhdistämällä tämä tehtaalta saatuun prosessidataan selvitettiin kuplakokojakaumaan liittyviä erilaisia syy-seuraussuhteita (Käyhkö et al. 2018).

HAPPIVAIHEEN DISPERSION MERKITYS - TUTKIMUKSET LEHTIPUULINJALLA

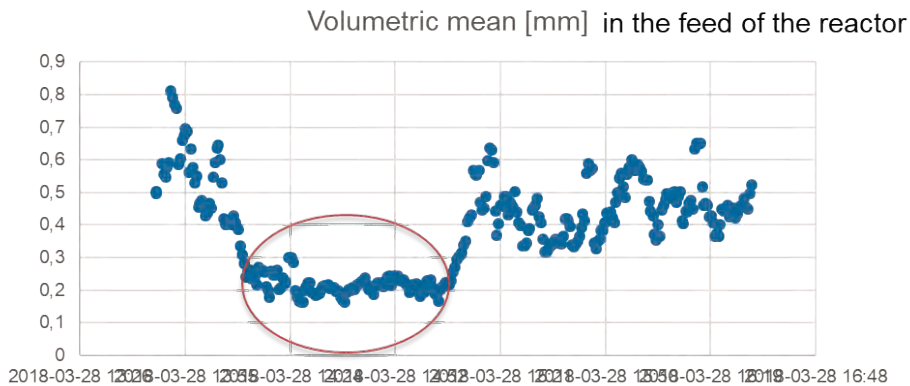
Yleinen näkemys alalla on, että lehtipuumassaa on hankalampi delignifoida happivaiheessa verrattuna havupuumassaan. Aiemmin havaittu kaasun heikompi dispergoituminen lehtipuumassalla antoi myös viitteitä siitä, että prosesseista voisi löytyä enemmän parannuspotentiaalia verrattuna havupuulinjoihin. Tutkimusten painopiste siirtyi eräälle lehtipuulinjalle, josta kerätty data indikoi, että linjalla saavutettava alhainen kappareduktio voisi hyvinkin johtua liian suuresta hapen kuplakoosta. Yksi merkittävä kuplakokoa suurentava tekijä linjalla oli vaahdonestokemikaalien käyttö, jolla on puolestaan merkittävä vaikutus happivaiheen ympärillä olevien pesujen toimintaan. Näiden havaintojen siivittämänä linjalle on rakennettu maailman mittakaavassa ainutlaatuinen in-line-mittauskeskittymä (kuva 1) sisältäen muun muassa:

- kaksi kuplakokomittaria, joilla voidaan seurata kuplakokoa happidelignifoinnissa sekä yleisemminkin prosessikaasujen esiintymistä ja kuplakokoa prosessissa
- kaksi Echowise-kaasupitoisuusmittausta, joilla pääasiassa seurataan kaasupitoisuutta pesuissa
- kymmenen refraktometriä, joilla voidaan määrittää pesureiden pesutehokkuus, happivaiheeseen menevä pesuhäviö sekä happivaiheessa liuennut ainemäärä
- mahdollisuuden mitata jatkuvatoimisesti prosessissa esiintyvien kaasujen kemiallinen koostumus.



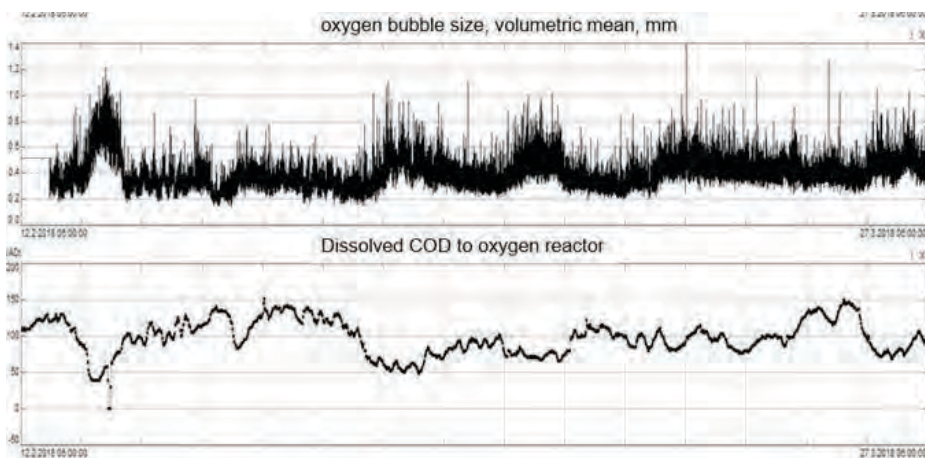
KUVA 1. In-line-tutkimusympäristö erällä lehtipuulinjalla (Käyhkö et al. 2019).

Happivaiheen osalta päätavoitteena tutkimuksissa on ollut selvittää, kuinka happidispersion kuplakokoon voidaan vaikuttaa, sekä vielä merkittävämpänä, mikä on happidispersion vaikutus kappareduktioon. Happidispersion kuplakokoon voidaan vaikuttaa jossain määrin happisekoittimen moottorin kierrosnopeudella, mutta selkeästi merkittävin vaikutus havaittiin vaahdonestokemikaalin käytöllä happivaihetta edeltävällä pesurilla (kuva 2).



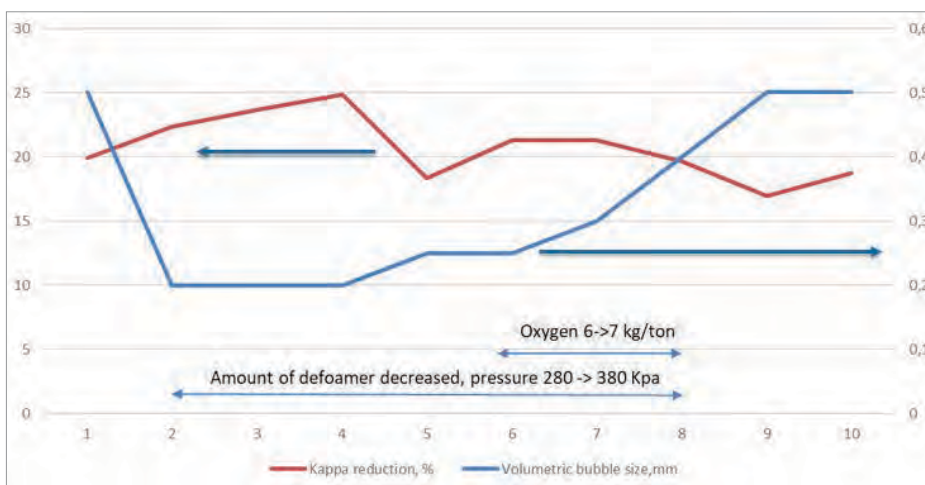
KUVA 2. Vaahdonestoaineen syötön katkaisu happivaihetta edeltävällä pesurilla tunnin ajaksi pienensi happidispersion kuplakokoa merkittävästi (Käyhkö et al. 2019b).

Pesuhäviöllä eli happivaiheeseen tulevan liuennan aineen määrällä havaittiin myös merkittävä vaikutus happidispersion kuplakokoon (kuva 3).



KUVA 3. Pesuhäviön (Dissolved COD) vaikutus happidispersiön kuplakokoon (Käyhkö et al. 2019b).

Lisäksi pesuhäviöllä havaittiin negatiivinen korrelaatio saavutettavaan kappa-reduk-tioon (kuva 4), eli pesuhäviön kasvaessa liuenneet aineet kuluttavat happea, jolloin delignifoi-nireaktioihin saatavilla olevan liunneen hapen määrä laskee. Tämä indikoi myös vahvasti sitä, että kyseisessä prosessissa hapen liukenemisen edistäminen eli happidispersiön kupla-koon pienentäminen voisi parantaa kappa-reduk-tiota. Paras tapa pienentää happidispersiön kuplakokoa oli vähentää vaahdonestoaineen syöttöä happivaihetta edeltävälle pesurille. Tällä on kuitenkin voimakas negatiivinen vaikutus happivaiheen jälkeisen pesurin pesute-hokkuuteen, mikä estää pitkäaikaisten tehdaskokeiden teon. Kuvassa 4 on esitetty tulokset tehdaskokeista, joissa vaahdonestoaineen annostelu ensin pysäytettiin ja sen jälkeen pidettiin mahdollisimman alhaisena niin, että pesun toiminta pysyi välttävänä.



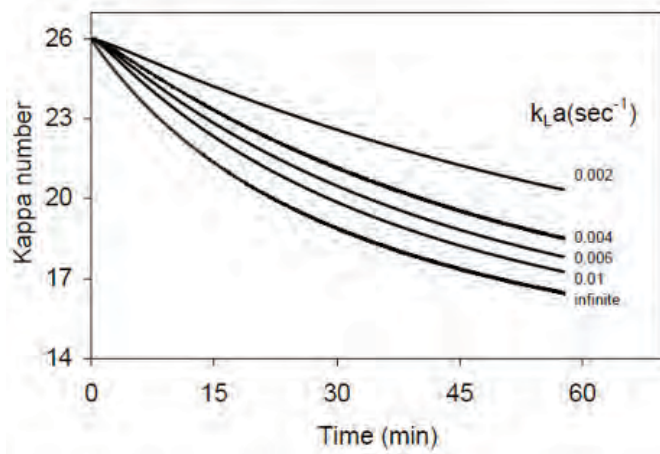
KUVA 4. Kuplakoon vaikutus kappa-reduk-tioon (Käyhkö et al. 2019b).

Tuloksissa esiintyy hieman hajontaa, mutta jos verrataan referenssipisteitä 1, 9 ja 10 muihin koepisteisiin, havaitaan, että kuplakoon ollessa pienempi on myös kappareduktio pääasiassa suurempi. Lisäksi kokeen aikana reaktorin yläosasta mitattu jäännöshapen määrä väheni lähes nollaan, mikä osoittaa, että hapenkulutus reaktorissa lisääntyi ja hapen syöttömäärää lisäämällä kappareduktiota olisi voinut vielä ehkä parantaa.



KUVA 5. Tunnistettujen kuplien määrän perusteella laskettu indikaatio jäännöskaasun määrästä reaktorin yläosassa (Käyhkö et al. 2019b).

Yksi tapa arvioida kuplakoon merkitystä happidelignifoinnissa on fysikaalinen mallinnus, jota tällä hetkellä viedään eteenpäin yhteistyössä Mainen yliopistossa professorina työskentelevän Andriaan van Heiningen kanssa. Van Heiningen on aiemmin perehtynyt syvällisesti happivaiheen fysikaaliseen mallinukseen ja julkaissut useita artikkeleita aiheesta. Hän on muun muassa tutkinut hapen aineensiirron ($k_L a$) ja kappareduktion välistä yhteyttä (kuva 6) sekä johtanut aineensiirron ja kuplakoon välisen yhteyden määrittävän yhtälön 1 (Käyhkö et al. 2019 b).



KUVA 6. Hapen aineensiirron ja kappareduktion yhteys (van Heiningen et al. 2003).

$$k_L a = \frac{12 D_{O_2} X_g}{((1/X_g)^{1/3} - 1) d_b^2} \quad \text{Yhtälö (1)}$$

Jossa:

$k_L a$: hapen aineensiirto, 1/s

D_{O_2} : hapen diffuusiovakio, m^2/s

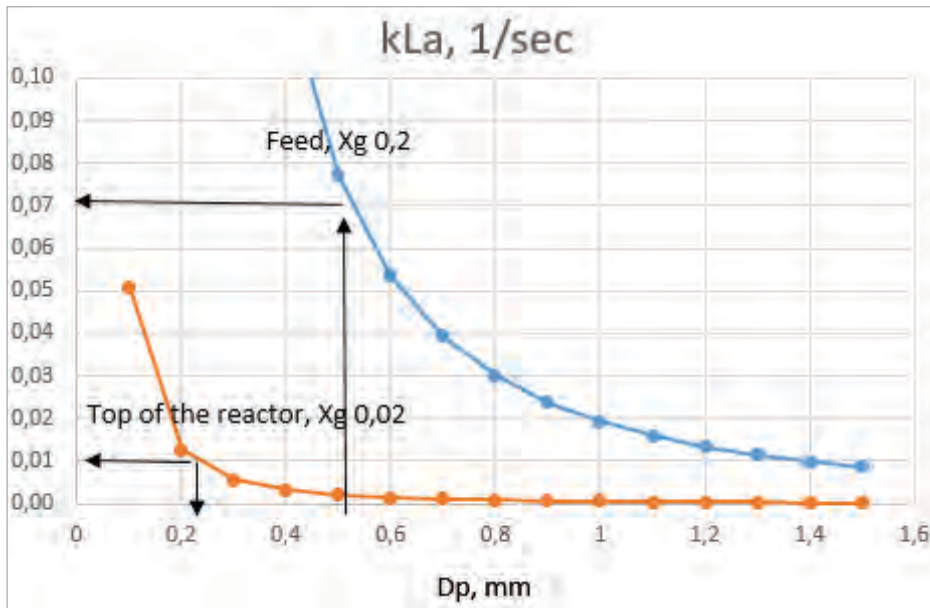
X_g : kaasun tilavuusosuus

d_b : kuplan halkaisija, m

Kuvassa 7 on esitetty $k_L a$ -arvo reaktorin syötössä ja poistossa perustuen taulukossa 1 esitettyihin prosessiarvoihin. Reaktorissa hapen kuluessa $k_L a$ -arvo pienenee, ja jotta hapen aineensiirto ei rajoittaisi prosessia, täytyy $k_L a$ -arvon olla tarpeeksi suuri myös reaktorin yläosassa (esim. kuvan 6 perusteella luokkaa 0,01). Tällöin kuvan 7 mukaan hapen kuplakoko reaktorin yläosassa tulisi olla 0,23 mm, jolloin hapen kuplakoko on reaktorin syötössä täytynyt olla luokkaa 0,5 mm. Prosessissa esiintyy useita mahdollisesti merkittäviä tekijöitä, joita aineensiirtolaskennassa ei ole huomioitu ja joiden vaikutuksesta riittävään hapen aineensiirtoon vaadittava kuplakoko on käytännössä arvioitua pienempi. Laskenta antaa kuitenkin ensimmäisen kerran mahdollisuuden geneerisesti arvioida kuplakoon vaikutusta happidelignifointiprosessissa, ja saatu tulos vaadittavasta kuplakoosta on hyvin linjassa käytännössä tehtyjen havaintojen kanssa. Laskentamallin verifointi sekä edelleenkehitys jatkuvat meneillään olevissa tutkimushankkeissa.

TAULUKKO 1. $k_L a$:n laskennassa käytetyt arvot, hapen diffuusiovakion arvona oli $5,7 \cdot 10^{-9} m^2/s$.

	Inlet of reactor	Top of reactor
O_2 , kg/ton	20	1
P, bar	7	3,5
X_g	0,2	0,02



KUVA 7. Hapen aineensiirto (kLa) taulukossa 1 esitettyissä tyypillisissä happivaiheen olosuhteissa (Käyhkö et al. 2019 b).

JATKOSUUNNITELMAT

In-line-tutkimusympäristön hyödyntäminen on vasta aluillaan, ja tämä antaa erinomaisen pohjan tutkia happivaiheen sekä tämän ympärillä olevien pesuvaiheiden toimintaan liittyviä perusilmiöitä sekä parantaa kyseisen prosessin toimintaa. Prosessiin on juuri hankittu suurempi moottori happisekoittimelle, mikä antaa mahdollisuuksia pienentää happidispersion kuplakokoa. Lisäksi prosessissa on mahdollisuuksia optimoida vaahdonestoaineen syöttöpaikkoja sekä määriä siten, että vaahdonestoaineen kulkeutumisesta happivaiheeseen voidaan vähentää ja siten mahdollisesti pienentää kuplakokoa merkittävästi ja pysyvästi. Pesujen toiminnan vaikutus tehtaan taloudelle sekä prosessin häiriöttömälle toiminnalle on merkittävä. Vaahdonestoaineiden käyttöön liittyvien muutosten tai edes tehdaskokeiden teko vaatii vahvaa motivointia eli osoitusta siitä, että muutokset ovat mahdollisia ja taloudelliset vaikutukset merkittäviä. Tutkimuksia jatketaan in-line-tutkimusympäristössä, laboratoriossa (ks. tämän julkaisun artikkeli: Mark reaktorin modifointi kaasumaisten kemikaalien dispergoitumisen sekä tehokkuuden määrittämiseen) sekä mallinnustutkimuksilla yhteistyössä Mainen yliopiston kanssa. Mallinnuksesta on jo saatu alustavia tuloksia, jotka tukevat tässä esitettyjä havaintoja happidispersion kuplakoon vaikutuksesta kappareduktioon. Lisäksi onnistuessaan mallinnusmenetelmä voi avata uusia näkymiä happidelignifoinnin sekä myös muiden kaasumaisiin kemikaaleihin perustuvien valkaisu vaiheiden toiminnan ymmärtämiseen, prosessien toteutukseen, optimointiin sekä säätöön.

LÄHTEET

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., 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., Honkanen, M., The State and role of gas dispersion in the oxygen delignification process, Proc. of the the 51^o Congresso Internacional ABTCP-CIADICYP 2018, October 23-25, 2018, Sao Paulo, Brazil.

Käyhkö, J., Mutikainen, H., Peltonen, K., Kopra, R., Hakala, M., Honkanen, M., Gas dispersion in the oxygen delignification process, Proc. of the TAPPI PEERS Conference, October 28-31, 2018, Portland, OR, USA.

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.

Mutikainen, H., Kopra, R., Pesonen, A., Hakala, M., Honkanen, M., Peltonen, K., Käyhkö, J., Measurement, State and Effect of Gas Dispersion on Oxygen Delignification, Proceedings of the International Pulp Bleaching Conference 2017, Porto Seguro, BA, Brazil, s. 57–61.

Mutikainen, H., Peltonen, K., Pikka, O., Käyhkö, J., Characterization of Oxygen Dispersion in Delignification Process, Proceedings of the International Pulp Bleaching Conference 2014, Grenoble, France, s. 51–56.

Mutikainen, H., Peltonen, K., Tirri, T., Käyhkö, J., Characterisation of Oxygen Dispersion in Medium-Consistency Pulp Mixing, Appita Journal, 67(2014) 1, s. 37–42.

Mutikainen, H., Strokina, N., Eerola, T., Lensu, L., Kälviäinen, H., Käyhkö, J., Online Measurement of the Bubble Size Distribution in Medium-Consistency Oxygen Delignification, Appita Journal, 68(2015) 2, s. 159–164.

Van Heiningen, A., Krothapalli, D., Genco, J., Justason, A., A chemical reactor analysis of industrial oxygen delignification. December 2003, Pulp and Paper Canada, 104(12):96–101.

MARK-REAKTORIN MODIFIOINTI KAASUMAISTEN KEMIKAALIEN DISPERGOITUMISEN SEKÄ TEHOKKUUDEN MÄÄRITTÄMISEEN

Antti Pappinen & Jari Käyhkö

Mark-laboratorioreaktoria on perinteisesti käytetty happidelignifoinnin ja kemiallisen massan valkaisu vaiheiden toiminnan tutkimiseen sekä täyden mittakaavan prosessien mitoitukseen. Kaasumaisia kemikaaleja käytettäessä on olemassa suuri vaara, että kaasu ei jakaudu reaktorissa homogeenisesti, vaan suuremmat kuplat konsentroituvat pyörivän sekoittimen keskiöön tai erottuvat massasta sekoituksen lakattua (Bennington 1993). Lisäksi Markissa tehdyn sekoituksen vastaavuudesta käytäntöön ei ole selkeää kuvaa. Kyseiset tekijät vaikeuttavat Markin soveltamista kaasumaisten prosessikemikaalien toiminnan tutkimiseen sekä tehdasmittakaavan laitteistojen mitoitukseen. Kuitulaboratoriossa on tehty uraa uurtavaa tutkimusta happidispersion laadusta sekä dispersion merkityksestä happidelignifoinnissa (Mutikainen et al. 2015, 2017 Liukkonen 2015 Käyhkö 2018a, 2018b, 2019a, 2019b).

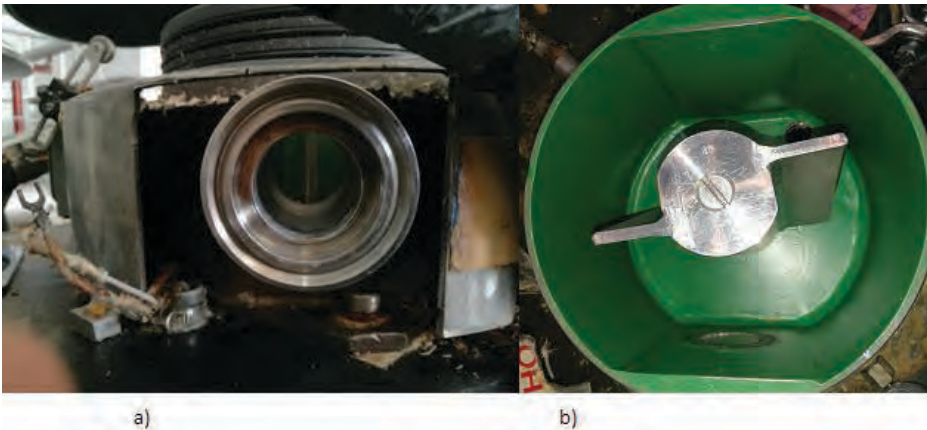
Tutkimusten myötä on noussut esille suuri tarve selvittää laboratoriokokeilla kaasumaisten kemikaalien dispergoitumista sekä dispergoitumisen vaikutuksia näiden toimintaan. Kuitulaboratorion Mark-reaktorilla voidaan mitata kaasudispersion kuplakokoa jatkuvatoimisesti sekoituksen/reaktion aikana ja lisäksi laitteistoon on tehty modifiointeja kaasujen sekoittumisen parantamiseksi. Modifiointien ja Markilla suoritettujen testausten tavoitteena on ollut koelaittekehityksen näkökulmasta seuraavat asiat: 1) toteuttaa Markissa sellaiset käytäntöä vastaavat olosuhteet, joissa kaasujen, esimerkiksi hapen, aineensiirto ei rajoita delignifointireaktioita, 2) määrittää, minkälaisella sekoituksella saavutetaan tehdassekoitinta vastaava tulos, ja 3) tuottaa reaktoriin homogeeninen tietyn kuplakokojakautuman omaava happidispersio, jotta Markilla voitaisiin tutkia kuplakoon vaikutusta kappareduktioon.

Tässä artikkelissa kuvataan edellä mainittujen tutkimusten etenemisestä. Muun muassa laitteistolla on tutkittu eri tekijöiden vaikutusta dispersion muodostukseen ja samalla kvantifioitu, kuinka sulpun kuplanmuodostuskyvyn huonontuessa todennäköisyys kaasun epähomogeeniseen jakautumiseen reaktorissa kasvaa. Havaintojen perusteella laitteistoa on modifioitu sekä muodostettu vakioitu tekotapa, jossa oletettavasti hapen aineensiirto ei ole delignifointireaktioita rajoittava tekijä. Menetelmällä on tutkittu eri tekijöiden vaikutusta

kappareduktioon eräällä tehdasmassalla. Menetelmäkehitystä jatketaan ja saatuja tuloksia hyödynnetään kyseisellä tehtaalla tehtävien koeajojen toteutuksessa. Tässä esitetty tutkimustyö on toteutettu KuituMod-hankkeessa (rahoittajina Etelä-Savon Maakuntaliitto/EAKR, Pixact Oy, Janesko Oy, Andritz Oy).

QUANTUM MARK IV -LABORATORIOSEKOITTIMEEN TEHDYT LAITTEISTOMUUTOKSET

Quantum Mark IV -laboratoriosekoittimen alkuperäiseen reaktorin rakenteeseen jouduttiin tekemään muutoksia kaasupitoisuuden ja kaasudispersion laadun mittaamiseksi. Reaktoriin tehtiin uusi K-Patentsin refraktometreissa käytettävä standardiyhde, jonka avulla siihen voidaan asentaa erilaisia mittareita.



KUVA 1. Mark IV -laboratoriosekoittimen kylkeen on asennettu Sandvik L -tyyppin laippakiinnityksellä oleva yhde, joka näkyy kuvassa 1a. Reaktorin lävitse menee 50 mm pitkä putki, jonka sisähalkaisija on 38 mm. Kuvassa 1b nähdään yhteen sisäänmenokohta suhteessa reaktoriin (kuva Antti Pappinen).

PIXACT-KUPLAKUVAUSJÄRJESTELMÄ

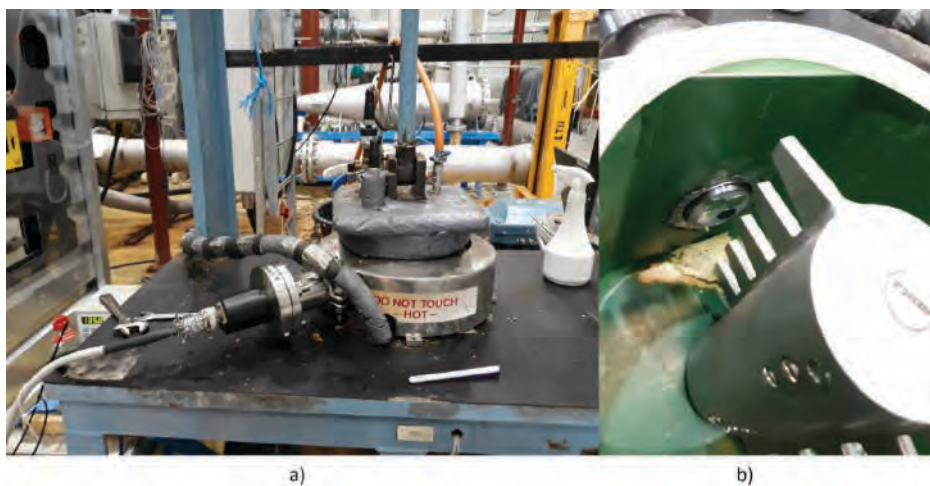
Kaasudispersion kuplakokojakauma määritetään kuitulaboratorion ja Pixact Oy:n yhteistyönä suunnittelemalla mittausjärjestelmällä. Kuvausjärjestelmä sisältää kameras ja ohjauslaitteen, jotka voidaan yhdistää tietokoneeseen. Kamerajärjestelmä voidaan asentaa Sandvikin L-tyyppin laippaan adapterin avulla, kuten myös K-Patentsin refraktometri yhteisiin tehtailla. Kompaktin koon ansiosta kuvausjärjestelmä voidaan myös helposti ottaa mukaan tehtaalle.



KUVA 1. Kuvassa 1a nähdään Pixact Oy:n kuplakuvausjärjestelmän kuvauspää asennettuna Mark-reaktorin kylkeen. Kuvassa 1b on esitetty koko kuplakuvausjärjestelmä tietokoneineen (kuva Antti Pappinen).

KAASUPITOISUUDEN MITTAUSJÄRJESTELMÄ

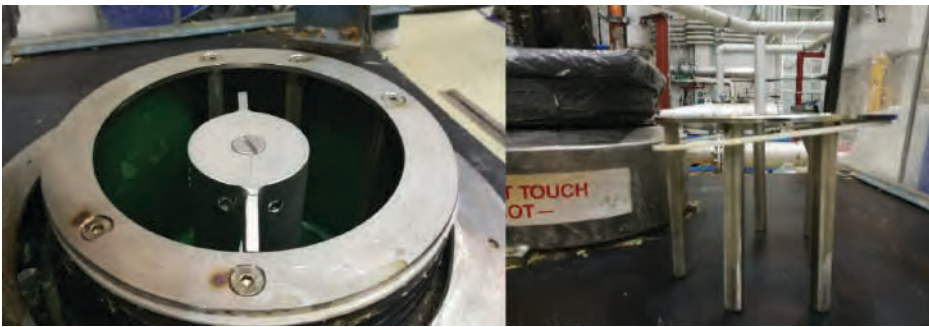
Mark IV -reaktorissa on myös tutkittu paikallisen yrityksen valmistamaa kaasupitoisuuden määrittämisen mahdollistavaa mittausjärjestelmää. Anturin runkorakenne mahdollistaa sen kiinnittämisen K-Patentsin yhteisiin tällä hetkellä. Mittarilla on saatu lupaavia tuloksia laboratorio-olosuhteissa.



KUVA 2. Kuvassa 2a kaasupitoisuusmittari kiinnitettynä Mark IV -reaktoriin kuvan 1 yhteen kautta. Kuvassa 2b näkyy mittarin pää reaktorin sisällä. Mittari perustuu sähkökemiallisiin menetelmiin, ja siinä on neljä elektrodia (kuva Kari Kärkkäinen).

LISÄVARUSTEITA KAASUDISPERSIOMITTAUKSIIN

Sylinterityyppisissä sekoitusreaktoreissa, joissa sekoittimen roottori on keskellä, ilmenee laitteistolle ominainen ongelma: sekoitettaessa kaasut pyrkivät kerääntymään sekoittimen keskiosaan erityisesti roottorin lapojen taakse. Mark IV -reaktoriin tehtiin haittatangot reaktorin reunoille, joiden tarkoituksena on edistää turbulenttisten virtausten muodostumista reaktorissa (kuva 3). Rakennelmassa on viisi tankoa, ja ne on kiinnitetty kierrerruuveilla ylälevyyn. Myöhemmin tangot hitsattiin kiinni ylälevyyn, sillä niiden huomattiin löystyvän kovilla sekoitusnopeuksilla. Rakennelmassa voidaan käyttää myös alapuolella olevaa levyä, mutta sen huomattiin hankaloittavan sekoitusta reaktorin alaosassa. Myös näytteenotto hankaloitui, joten sen käytöstä päätettiin luopua.



KUVA 3. Reaktoriin tehdyt haittatangot parantavat turbulenttisten virtausten muodostumista reaktorissa (kuvat Antti Pappinen).

Mark-reaktoriin teetettiin läpinäkyvä kansi, jota voidaan käyttää paremmin sekoituksen haittatankojen kanssa (kuva 4). Kansi on tehty akryylistä, ja sen keskellä on upotus, joka laskee kannen noin kahden millimetrin päähän roottorin yläosasta. Näin roottorin ja kannen väliin jäävän massan määrä saadaan mahdollisimman pieneksi. Tällä tavoin voidaan paremmin tarkastella kaasun sekoittumista reaktorissa esimerkiksi suurnopeuskameralla.



KUVA 4. Mark-reaktoriin tehtiin läpinäkyvä kansi käytettäväksi sekoituksen haittatankojen kanssa. Materiaalina akryyli (kuva Antti Pappinen).

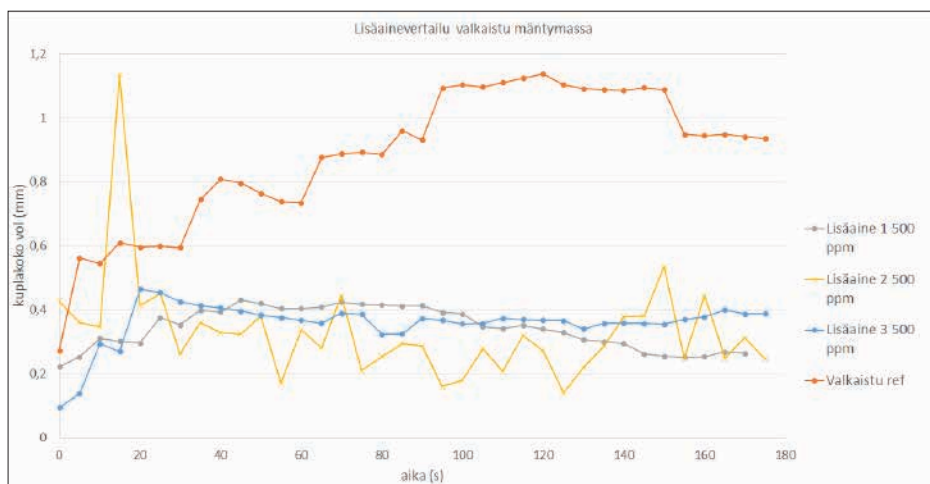
KAASUN SEKOITTUMISEEN SEKÄ DISPERSION MUODOSTUMISEEN VAIKUTTAVAT TEKIJÄT SYLINTERITYYPPISSÄ REAKTOREISSA

Kaasun sekoittumiseen ja kuplan muodostukseen vaikuttavia tekijöitä reaktorissa ovat sekoitukseen käytetty kierrosnopeus ja aika, sekoittimen ja reaktorin geometria sekä kaasun tilavuusosuus sekoittimessa. Lisäksi vaikuttavina tekijöinä ovat massan sakeus ja laatu sekä erityisesti suodososuuden pintakemia, johon vaikuttavat puolestaan liuenneiden aineiden määrä ja laatu.

Reaktorissa kaasu pyrkii kerääntymään reaktorin keskelle roottorin lapojen taakse keskivakovoiman vuoksi. Roottorin lapojen taakse muodostuu myös imu, jolloin kaasu kulkeutuu niiden takana sekoitettaessa eikä sekoitu massan joukkoon (Bennington 1993). Oletettavasti massan kuplanmuodostuskyky vaikuttaa kerääntymiseen. Asiaa ei ole aiemmin tutkittu, mutta näyttäisi todennäköiseltä, että kun massan kuplanmuodostuskyky on tarpeeksi huono, jää osa kaasusta helpommin tai pitemmäksi aikaa sekoittimen keskelle. Tämä puolestaan vaikuttaa delignifointitulokseen eli Markin käytettävyyteen testilaitteena.

Seuraavassa on esitetty tuloksia eri tekijöiden, pääasiassa pintakemian vaikutuksista kaasujen sekoittumiseen ja dispersion muodostukseen Mark-reaktorilla.

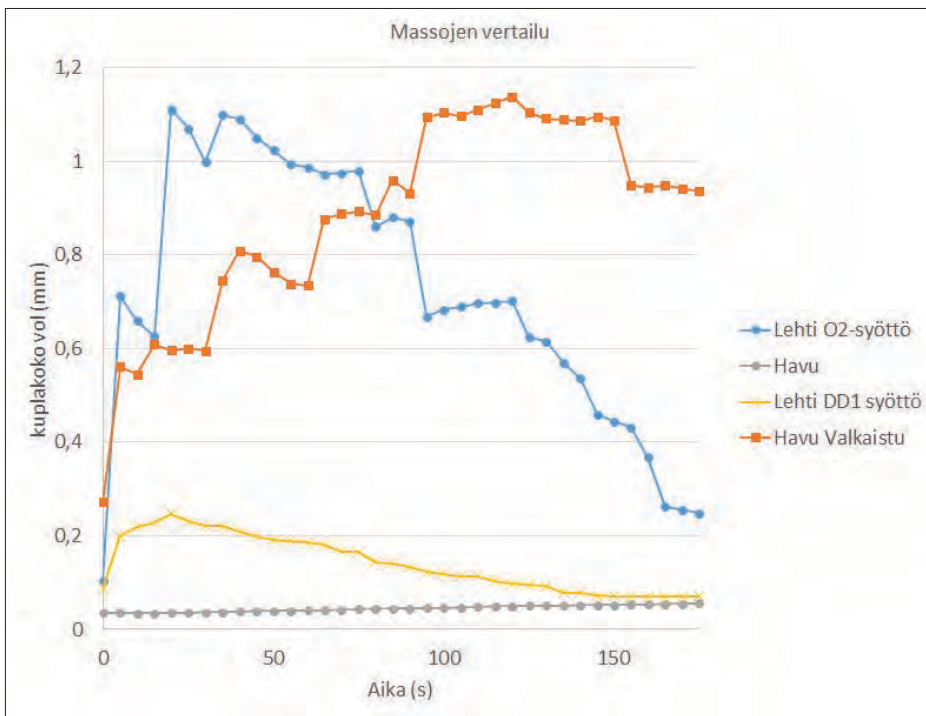
Lisäaineiden vaikutusta kuplakokoon testattiin valkaistuun mäntymassaan, jonka kuplien muodostus pinta-aktiivisten aineiden puutteen vuoksi oli heikkoa, kuten kuvasta 5 nähdään.



KUVA 5. Valkaistu mäntymassa. Nopea sekoitusnopeus 2400 rpm-1. Hidas sekoitusnopeus 120 rpm-1. Massan sakeus 10,5 %. Kaasufraktio 0,1. (Pappinen 2019)

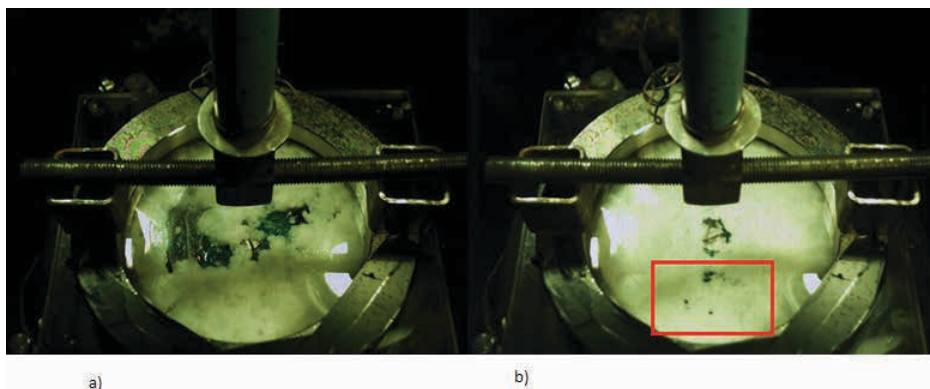
Kuvasta 5 havaitaan, että valkaistulla mäntymassalla kuplakoko on paljon suurempi verrattuna kokeisiin, joissa massan joukkoon lisättiin pinta-aktiivisia aineita sisältäviä lisäaineita avustamaan kuplien muodostumista.

Kuvasta 6 nähdään erot kuplan muodostuksessa lehti- ja havumassoilla, jotka on otettu tehtaalta eri prosessivaiheista. Paras kuplanmuodostus tapahtuu keiton jälkeisellä havumassalla, jossa liuenneiden pinta-aktiivisten aineiden pitoisuus on suurin. Lehtipuumassoilla vertailluna on keiton jälkeinen vuopesurilla pesty massa DD1-pesurin syötöstä ja happivalkaisun syötöstä otettu massa. DD1-syöttömassan liuenneiden aineiden pitoisuus on suurempi kuin happivalkaisun syöttömassalla, mikä näkyy selvästi kuplien koossa.

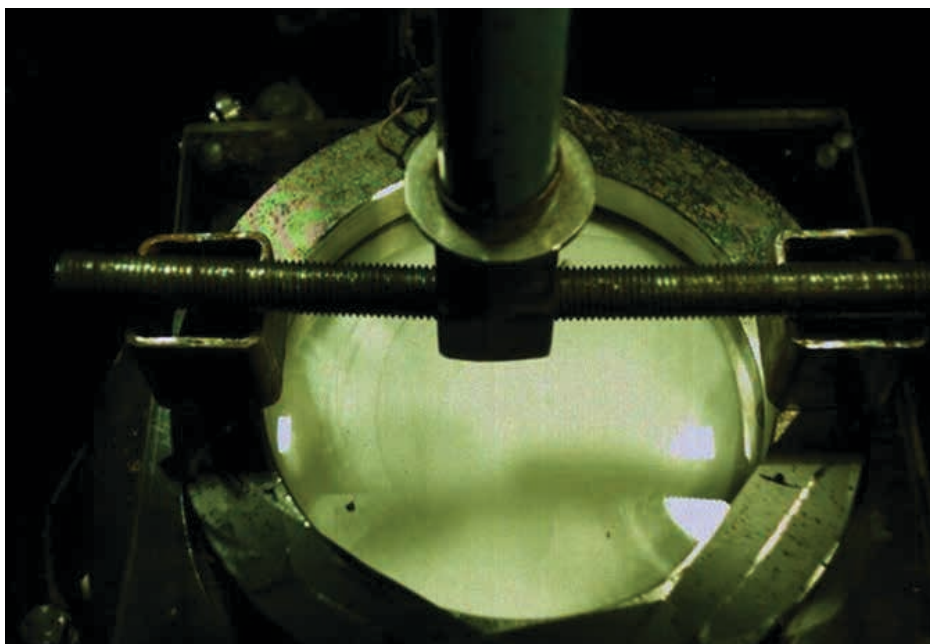


KUVA 6. Käytetyt massat: Koivu O2-syötöstä. Havu keiton jälkeen. Koivu DD1-pesurin syötöstä. Havu valkaistu. Nopea sekoitusnopeus 2400 rpm-1 10 s. Hidas sekoitusnopeus 120 rpm-1. Massan sakeus 10,5 %. Kaasufraktio 0,1. (Pappinen 2019)

Kuten kuvista 7a, 7b ja 8 nähdään, pinta-aktiivisilla ominaisuuksilla on merkittävä vaikutus kaasun kerääntymiseen reaktorin keskiosaan. Suurnopeuskameralla kuvatuilla videoilla valkaistua massaa sekoitettaessa voidaan havaita kaasun kerääntyminen roottorinlapojen taakse vielä 2400 rpm-1:n kierrosnopeudella.



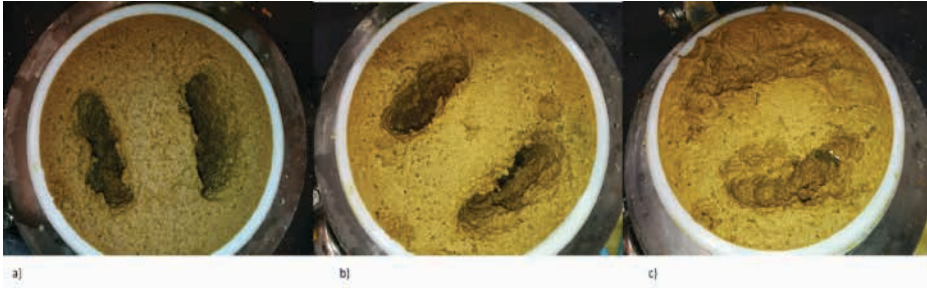
KUVA 7a. Suurnopeuskameralla kuvatulla videolla nähdään, kuinka valkaistulla mäntymassalla roottorin lavan taakse jää tyhjä alue, jonne kaasu on kerääntynyt. Sekoitusnopeus 200 rpm-1. Kaasufraktio 0,1. Kuva 7b. Suurnopeuskameralla kuvatulla videolla sekoitetaan valkaistua mäntymassaa nopeudella 1200 rpm-1. Kaasufraktio 0,1. Kuvassa nähdään vielä musta alue, jossa ilma on kerääntynyt sekoittimen roottorin lavan taakse (kuvat Antti Pappinen).



KUVA 8. Suurnopeuskameralla kuvatulla videolla sekoitetaan valkaistua mäntymassaa, johon on lisätty Fairy-tiskiainetta parantamaan pinta-aktiivisia ominaisuuksia kaasunsekoituksen kannalta (kuva Antti Pappinen).

Jo 200 rpm-1:n nopeudella kaasufraktion ollessa 0,1 havaitaan merkittävä ero kaasun sekoittumisessa massan joukkoon (vrt. kuva 7a). Yleisesti Mark-tyyppisissä reaktoreissa käytettävä sekoitusaika on ollut viisi sekuntia kierrosnopeudella 2400 rpm-1 reaktoreita omistavien tahojen ja maahantuojaan kanssa käytyjen keskusteluitten perusteella. Tämän on uskottu tarjoavan tarpeellisen kaasudispersion reaktorilla tehtäviin kaasuihin perustuviin valkaisukokeisiin.

Tämä ei kuitenkaan ole saamiemme tulosten perusteella välttämättä riittävää, jotta kaasu sekoittuisi tasaisesti reaktorissa. Kuplakuvausjärjestelmästä huomasimme, että reaktorin reunoilla olevat kuplat olivat pieniä, mutta suurin osa kaasusta oli vielä sekoittumattomana reaktorin keskiosassa.



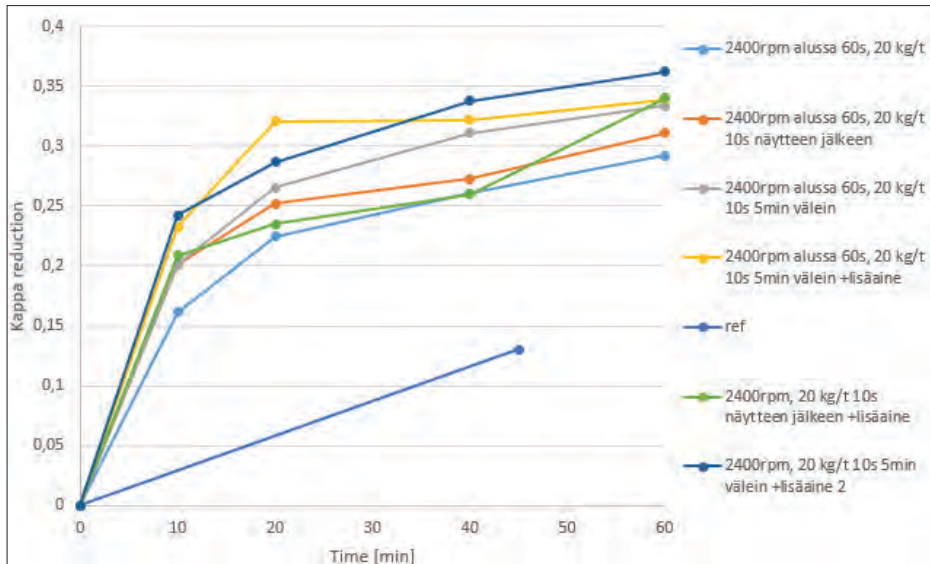
KUVA 8. Mark IV -reaktorissa sekoitettu happivaiheen syöttömassa 10 sekunnin sekvensseissä, jonka jälkeen kansi on avattu ja tyhjä kerros massan päältä on painettu pois ja ilmataskut ovat paljastuneet. Tämän jälkeen kansi on laskettu ja sekvenssi on toistettu. Sekoitusnopeus 2400 rpm-1, sakeus 10,6 %, kaasufraktio 0,1, sekoituksen hättätankoja käytetty. Kokonaissekoitusaika a) 10 sekuntia, b) 30 sekuntia ja c) 60 sekuntia (kuvat Antti Pappinen).

Kuvasta 8 nähdään, kuinka Mark IV -laboratoriosekoittimen vakioroottorilla sekoitettaessa sekvensseissä kaasun melkein täydellinen sekoittuminen massaan vaatii jopa yli 60 sekuntia kokonaissekoitusaikaa täydellä teholla tämän tyyppisellä massalla.

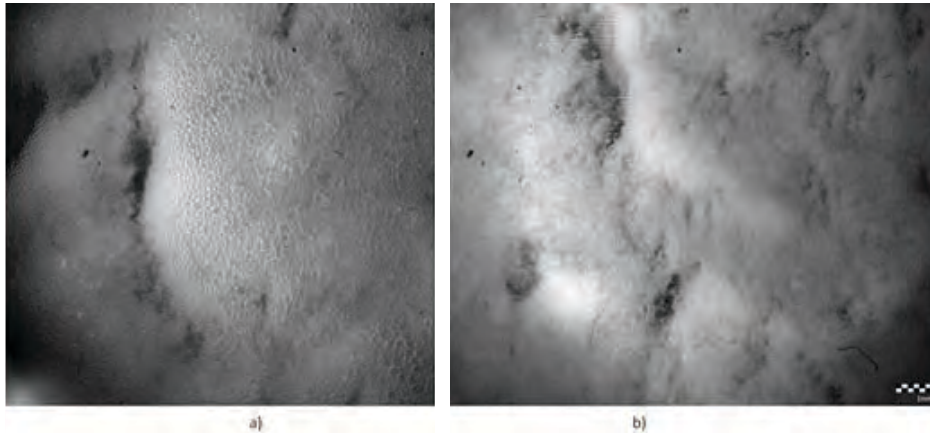
HAPPIVALKAISUKOKEET JA NIIDEN TOTEUTTAMINEN

Mark-laboratoriosekoittimella tehtiin happidelignifiointikokeita, joiden tarkoitus oli selvittää prosessiparametrien vaikutusta kappareduktioon yhteistyötehtaan koivumassalla. Kokeissa on myös pyritty selvittämään tarvittavaa sekoitustarvetta, jotta hapen aineensiirto ei olisi rajoittavana tekijänä reaktorissa.

Kuvasta 9 nähdään, että parhaat tulokset saavutettiin tehokkaimmalla sekoituksella eli sekoittamalla massaa 5 minuutin välein 10 sekuntia 2400 rpm-1:n kierrosnopeudella alkusekoituksen lisäksi. Mahdollisesti tiheämmällä sekoitusvälillä olisi mahdollista päästä vielä parempiin tuloksiin, mutta ongelmaksi muodostuu tällöin lämpötilan hallinta reaktorissa, koska sekoitukseen käytetty energia muuttuu lämmöksi. Tuloksen mukaan pinta-aktiivisen lisäaineen käytöllä voisi olla kappareduktiota parantava vaikutus tässä tapauksessa. Tämä indikoi, että kyseisellä massalla kuplanmuodostuskyky on sen verran heikko, että vielä suurimmalla käytetyllä sekoituksella hapen aineensiirto rajoittaa kappareduktion saavuttamista.



KUVA 9. Happidelignifiointikokeissa tutkittiin erilaisia sekoitussekvenssejä, ja tarkoituksena oli selvittää hapen aineensiirron vaikutusta valkaisu tulokseen muiden parametrien pysyessä vakiona. Aluksi massaa sekoitettiin 60 s, jonka jälkeen sekoitus tapahtui erilaisina sekvensseinä. Kokeissa käytettiin myös pinta-aktiivisia aineita parantamaan kuplien muodostumista. Lämpötila 90 °C, reaktorin jatkuva paineistus hapella 7 bar, alkali annos 20 kg/t NaOH, kaasufraktio alussa 0,1 (kuva Antti Pappinen).



KUVA 10a. Kuplien koko heti 2400 rpm-1:n sekoituksen jälkeen. Kuva 10b. Kuplien koko noin neljä minuuttia edellisestä sekoituksesta. Kokeessa käytettiin lisäainetta (kuvat Antti Pappinen).

Kuvasta 10a ja 10b nähdään, kuinka heti sekoituksen jälkeen kuplat ovat hyvin pieniä ja halkaisijaltaan alle 30 mikrometriä, mutta jo noin neljän minuutin jälkeen niiden koko on kasvanut puhkeamisen ja yhdistymisen vuoksi. Näin ollen hapen aineensiirto saataisiin pidettyä maksimissaan kokoaikaisella, mahdollisimman tehokkaalla sekoituksella.

Tuloksien perusteella päädyttiin jatkossa käyttämään vakioitua kokeiden tekotapaa, jossa massaa sekoitetaan 2400 rpm⁻¹ aluksi 60 sekuntia ja sen jälkeen 10 sekuntia 5 minuutin välein. Lisäaineen käyttö on massasta riippuen tapauskohtaista. Tällä tavoin hapen aineen-siirto on mahdollisimman lähellä täydellistä, mutta sekoituksesta johtuva lämpötilan nousu saadaan pidettyä minimissään.

Mark-laboratoriosekoituksella saatavan kuplakoon saaminen vastaamaan tehdassekoitusta vaatii vaahdonestoaineiden käyttämistä, sillä nykyisin käytetyllä 60 sekunnin sekoituksella 2400 rpm⁻¹ kuplakoko saadaan helposti massan kemiallisten ominaisuuksien sallimaan minimiin, mikä ei ole mahdollista tehdasolosuhteissa massan pesuvaiheessa käytettävien vaahdonestokemikaalien ja sekoitusjärjestelmien vuoksi.

JATKOSUUNNITELMAT

Mark IV -laboratoriosekoittimen reaktoriin on tulossa vielä toinen yhde Sandvikin L-tyypin laipalla ja 38 mm sisähalkaisijan putkella. Tällöin siihen voidaan asentaa useampia mittauksia yhtäaikaaisesti. Tällä hetkellä yhteensopivia mittareita ovat kuplakokojakaumamittaus, kaasupitoisuuden mittaus ja refraktometrit. Tarkoituksena on myös samalla tehdä injektioportteja kemikaaleille, jolloin kemikaaleja pystytään syöttämään reaktoriin kesken kokeiden. Reaktorin sivulla oleva kemikaalien syöttöportti mahdollistaa myös kemikaali-syötön kesken kokeiden käytettäessä läpinäkyviä kansia.

Koetointia reaktorilla jatketaan meneillään olevissa tutkimushankkeissa. Lisäksi tavoitteena on aloittaa laajempi biotuotetehtaan kaasuihin keskittyvä hanke, jossa olennaisena osana on Mark-reaktorin ja siihen yhdistettyjen mittausten käyttö sekä erityisesti menetelmän jatkokehittäminen ja standardointi. Näin sitä voidaan paremmin hyödyntää Kuitulaboratorion palvelututkimustoiminnassa sekä laajemminkin alan tutkimustoiminnassa.

LÄHTEET

Bennington, C., Mixing gases into medium-consistency pulp suspensions using rotary devices, Vol. 76 No. 7 Tappi journal, 1993, pp. 79–86.

Käyhkö, J., Mutikainen, H., Peltonen, K., Kopra, R., Eloranta, H., Honkanen, M., 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., Honkanen, M., Gas dispersion in the oxygen delignification process, Proc. of the TAPPI PEERS Conference, October 28-31, 2018, Portland, OR, USA.

Käyhkö, J., Mutikainen, H., Peltonen, K., Kopra, R., Hakala, M., Honkanen, M., The State and role of gas dispersion in the oxygen delignification process, Proc. of the the 51^o Congresso Internacional ABTCP-CIADICYP 2018, October 23-25, 2018, Sao Paulo, Brazil.

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.

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.

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., 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.

Pappinen, A., Kaasudispersion koelaitteiston kehitys sekä eri tekijöiden vaikutus kuplan muodostukseen happidelignifioinnissa. Opinnäytetyö, Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu, Theseus.fi, 2019.

WEDGE-JÄRJESTELMÄN KÄYTTÖÖNOTTO SEKÄ SOVELTAMINEN KUITU- LABORATORION TUTKIMUSTYÖSSÄ

Kari Kärkkäinen & Jari Käyhkö

Wedge-prosessidatan analysointijärjestelmä on kehitetty aikoinaan Suomessa, ja se on levinnyt maailmanlaajuisesti prosessiteollisuuteen. Tällä hetkellä se on aktiivisessa päivittäisessä käytössä lähes kaikissa suomalaisissa paperi- ja massatehtaissa. Biokasvu-tutkimushankkeen myötä kuitulaboratoriolle on hankittu Wedge-järjestelmä opetus- ja TKI-toiminnan käyttöön. Järjestelmän käyttöönotto on edesauttanut huomattavasti muun muassa Gasopti- ja KuituMOD-hankkeissa toteutettujen tehdastutkimusten ja -kokeiden toteutusta mahdollistamalla tehokkaan prosessidatan analysoinnin ja raportoinnin tutkimusta tekeville henkilöille. Tehdyt tehdastutkimukset ja Wedge-järjestelmän sisäajo näiden kautta ovat luoneet selkeän tarpeen ja pohjan kehittyneemmille datan keruu-, analysointi-, mallinnus- ja IIoT hyödynnettävyys -pohjaisille toimille Kuitulaboratoriossa sekä näiden soveltamiselle tutkimustoiminnassa ja uusien käytännön sovellusten kehittämisessä (apsit). Tässä artikkelissa kuvataan Wedge-järjestelmä, sen käyttöönottoon liittyneet toimet, käyttö tutkimustoiminnassa sekä toimintaskenaariot prosessitutkimusten ja näihin liittyvien datasovellusten kehityksestä.

WEDGE-JÄRJESTELMÄ YLEISESTI

Wedge on alun perin KCL:n (Oy Keskuslaboratorio, Centrallaboratorium Ab) kehittämä, nykyisin yhdysvaltalaisen pörssiyritys Trimble Inc.:n omistama ja ylläpitämä prosessidatan keräämiseen, analysointiin ja prosessivaihteluiden hallintaan tarkoitettu ohjelmistotyökalu. Yleisesti Euroopan paperiteollisuudessa käytössä olevan ohjelman tyypillisiä käyttökohteita ovat lopputuotteen laatuvaihteluiden minimointi ja tuotannon tehokkuuden parantaminen. Wedge-prosessidiagnostiikkajärjestelmässä voidaan hyödyntää useita erilaisia tietolähteitä. Yleisimmät prosessinohjausjärjestelmien yhteydessä käytettävät tietokannat, kuten Metso DNA:n IA, Honeywell PHD ja Microsoftin SQL-kanta, ovat tuettuja. Wedgen tarjoamia analyysityökaluja voidaan siis käyttää näiden ulkoisten historiatietokantojen eli ns. suorien tietolähteiden päällä. Lisäksi Wedge-palvelimelle tallennetuista ASCII-tiedostoista voidaan hakea dataa Wedge-järjestelmään analyysia varten. Tällöin ASCII-tiedostosta luodaan palvelimelle oma SQL-tietokanta, jota käytetään tietolähteenä. Lisäksi voidaan käyttää ns.

Remote-tietolähdettä, jolla tarkoitetaan toisessa Wedge-järjestelmässä sijaitsevaa DAS-palvelimen tietolähdettä. Prosessidataa on mahdollista kerätä myös järjestelmän mukana tulevaan WDB-tietokantaan (Wedge Data Base).

Wedge hyödyntää toiminnassaan sisäisiä palvelimia, joihin kytkeydytään Wedgen käynnistyksen yhteydessä: WCS (Wedge Configuration Server) on konfiguraatiopalvelin, joka vastaa käyttäjäasetusten tallentamisesta ja tietolähteiden kanavatiedoista. DAS (Data Acquisition Server) on datapalvelin, jonka avulla Wedge lukee mittausdataa eri tietolähteistä, esimerkiksi WDB-tietokannasta. Jokaiseen datapalvelimeen kuuluu tavallisesti vähintään yksi tietolähde, johon puolestaan kuuluu vähintään yksi mittaus. Samassa palvelinkoneessa vain yksi datapalvelin kerrallaan voi olla aktiivisena. WES (Wedge Event Server) eli hälytyspalvelin on palvelinohjelma, jonka avulla seurataan taustatarkkailun tilaa ja välitetään hälytykset niitä seuraaville asiakasohjelmille. WFS (Wedge File Server) on tiedostopalvelin, joka huolehtii kaaviotiedostojen tallentamisesta ja varastoinnista palvelimelle. Tällä tavoin kerran luodut prosessikaaviot ovat keskitetysti kaikkien Wedge-asiakasohjelmiston käyttäjien hyödynnettävissä. MATLAB-palvelin mahdollistaa laskentatoimintojen käytön.

Tietokantaan tallennettua prosessidataa päästään analysoimaan Trimblen Wedge-prosessidiagnostiikkajärjestelmän asiakasohjelman (client) avulla. Käytännössä asiakasohjelmat on asennettu toimistoverkossa sijaitseville tutkijoiden omille työasemille, joilta käsin tehdään hakuja toimistoverkkoa käyttäen Wedge-palvelimen tietokantaan.

Wedge-asiakasohjelma tarjoaa graafisen käyttöliittymän kautta valikoiman valmiita työkaluja tietokantaan kerätyn prosessidatan esittämiseen, esikäsittelyyn, analysointiin sekä raportointiin. Käytännössä analyysin tekeminen alkaa datan esittämisestä visuaalisessa muodossa trendeinä. Trendejä on mahdollista esittää yksittäin omissa ikkunoissaan tai useita kerrallaan samassa ikkunassa.

Luotettavien analyysitulosten saamiseksi voidaan virheellinen mittausdata joko merkitä puuttuvaksi tai leikata kokonaan pois. Ensin mainittua tapaa käytetään, kun analysoitavaan dataan ei haluta epäjatkuvuuskohtia. Tällainen virheellisen datan karsinta voidaan suorittaa joko yksittäisille mittauksille tai prosessin kaikille mittauksille kerralla. Toisena tapana virheellistä mittausdataa voidaan leikata joko ajallisesti valittu jakso tai suodattamalla kaikki jaksot, joiden aikana mittausarvo on ollut yli tai ali halutun raja-arvon. Datan leikkaus aiheuttaa epäjatkuvuuden aika-akseliin, mutta käytännössä tämä otetaan huomioon laskennassa, eikä virhettä lopullisiin analyysituloksiin pääse syntymään. Datan leikkausta käytettäessä on kuitenkin otettava huomioon, ettei kaavion muista mittauksista menetetä tärkeää informaatiota.

Wedgen analyysimenetelmien avulla on tarkoitus saada prosessista sellaista tietoa, joka perinteisempien trendityökalujen avulla on hankalaa. Seuraavassa on listattuna Wedgen analyysimenetelmät sekä niiden käyttötarkoitukset.

Tilastotietojen avulla saadaan parempi kuva mittausdatasta ja prosessin tilanteesta, esimerkkinä mittausdatan hajonnan tutkiminen. XY-kuvaajien avulla voidaan tutkia kahden mittauksen välisiä riippuvuuksia graafisesti tai vaihtoehtoisesti sovitusten avulla. Histogrammi kertoo mittausdatan jakauman. Korrelaatiokertoimen avulla voidaan tutkia mittausdatojen samankuotoisuutta. Ristikorrelaation avulla voidaan selvittää mittausten viiveellisiä korrelaatioita sekä autokorrelaatiota. Spektrityökalulla voidaan tutkia mittaussignaalin jaksollisuutta sekä sen tehon jakautumista eri taajuuksille. Jaksolliset vaihtelut -analyysillä voidaan paljastaa mittausten samalla jaksonpituudella tapahtuvia vaihteluita. MAR-navigaattorin avulla voidaan selvittää jaksollisten prosessivaihteluiden alkuperää. Aaltomuodontunnistuksella voidaan paljastaa kertaluonteisten ilmiöiden syitä. Tilastollista prosessitarkkailua voidaan käyttää prosessin toiminnan muutoksien havaitsemiseen sekä syiden hakemiseen. Laskennallisten mittausten avulla voidaan prosessista saatavien todellisten mittauservojen perusteella tehdä varsinaista analyysia avustavaa laskentaa. Tyypillisesti laskenta voi olla esimerkiksi yksikkömuunnoksia tai taselaskentaa. Käytännössä laskenta tehdään MATLAB-funktioilla. Pääkomponenttianalyysi (PCA, Pricipal Component Analysis) tarjoaa työkalun suurten korreloituneiden mittausjoukkojen tarkasteluun. Sen avulla mahdollinen häiriönlähde voidaan löytää nopeasti tutkittavasta mittausdatasta. Tehtyjen analyysien päälle voidaan lisätä uusia analyysijä. Esimerkiksi avoinna olevaan tilastotietotaulukkoon voi lisätä korrelaatiomatriisin ja tarkastella kyseisten mittausten välisiä korrelaatiokertoimia (Häkkinen 2011).

Prosessista kerätyn mittausdatan esikäsittely- ja analyysitoimintojen lisäksi Wedge tarjoaa ohjatun raportointitoiminnon. Raportointi voidaan määrittää automaattisesti tiettyinä aikoina tapahtuvaksi tai se voidaan suorittaa myös manuaalisesti etukäteen määritettyjä raporttipohjia käyttäen. Raporttipohjia varten ohjatussa toiminnossa määritetään raporttiin halutut mittaukset sekä ajanjakso ja aikataso, joiden perusteella raporttiin haetaan mittausdata. Raportit voivat sisältää trendejä ja tilastotietoja tai pelkästään jompaakumpaa. Raportit voidaan tulostaa paperille tai niistä voidaan luoda PDF-tiedosto.

Savcor Wedge sisältää myös muita tutkimustyötä tehostavia ominaisuuksia. Wedgen tietokannasta haettua, mahdollisesti Wedgen työkaluilla esikäsiteltyä dataa voidaan viedä ohjelman ulkopuolelle joko tekstitiedostoon ASCII-tallennustoimintoa käyttäen tai suoraan MS Excel-ohjelmaan leikepöydän avulla. Näin voidaan tarvittaessa suorittaa esimerkiksi mittausdatan jatkokäsittely tai raportointi jossain muussa ohjelmassa. (Wedge®-käyttöopas 2009, 126–134)

Wedge-ohjelma tarjoaa mahdollisuuden myös makrojen käyttöön. Usein toistuvien toimintojen suorittamista voidaan tehostaa tallentamalla ne makroihiin, joita voidaan suorittaa joko manuaalisesti esimerkiksi prosessikaavion makrolinkin avulla tai automaattisina taustamakroina. Tyypillisiä taustamakroja ovat esimerkiksi haluttujen mittausten tai laskentojen raportointi trendipiirtona tietyin aikavälein. Makrojen luominen tapahtuu perinteisesti nauhoittamalla, ja valmiiden makrojen muokkaus on mahdollista WedgeLISP-ohjelmointikielen avulla. WedgeLISP muistuttaa läheisesti LISP (List Processing) -ohjelmointikieltä. (Häkkinen 2011)

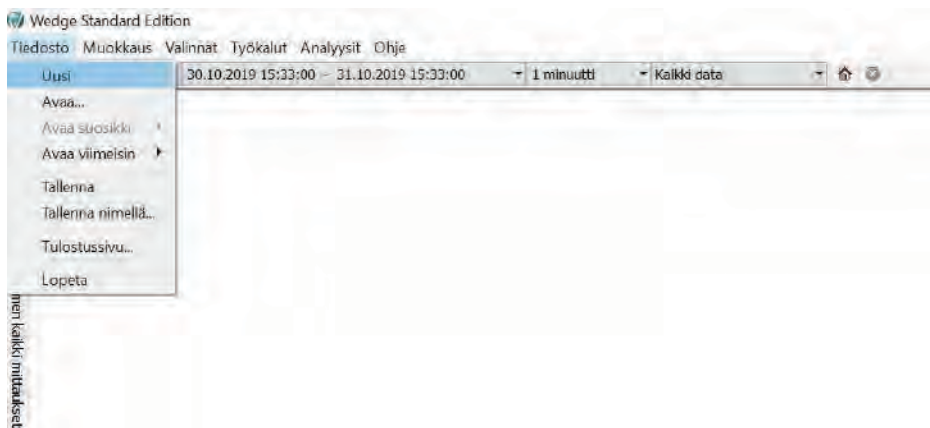
WEDGE-JÄRJESTELMÄN SOVELTAMINEN KUITULABORATORION TUTKIMUSTYÖSSÄ

Wedge-järjestelmä on hankittu Xamk Kuitulaboratoriolle pääosin opetuskäyttöön mutta myös satunnaiseen TKI-toiminnan tukikäyttöön. Harkinnassa on TKI-toiminnalle oman tietokannan avaaminen varsinkin, jos Wedgen käyttöä laajennetaan ja käsittelyssä siirrytään tietyin osin reaaliaikaisempaan käyttöön. Xamkin opetus- ja TKI-käytön avausikkuna on esitetty kuvassa 1.



KUVA 1. Xamkin opetuskäyttöön tarkoitetun Wedge-ohjelman aloitusikkuna (Wedge).

Xamkin tietokantaan voidaan luoda uusi ikkuna (esim. uuttoprosessi), jolle voidaan rakentaa halutun kaltainen näyttö.

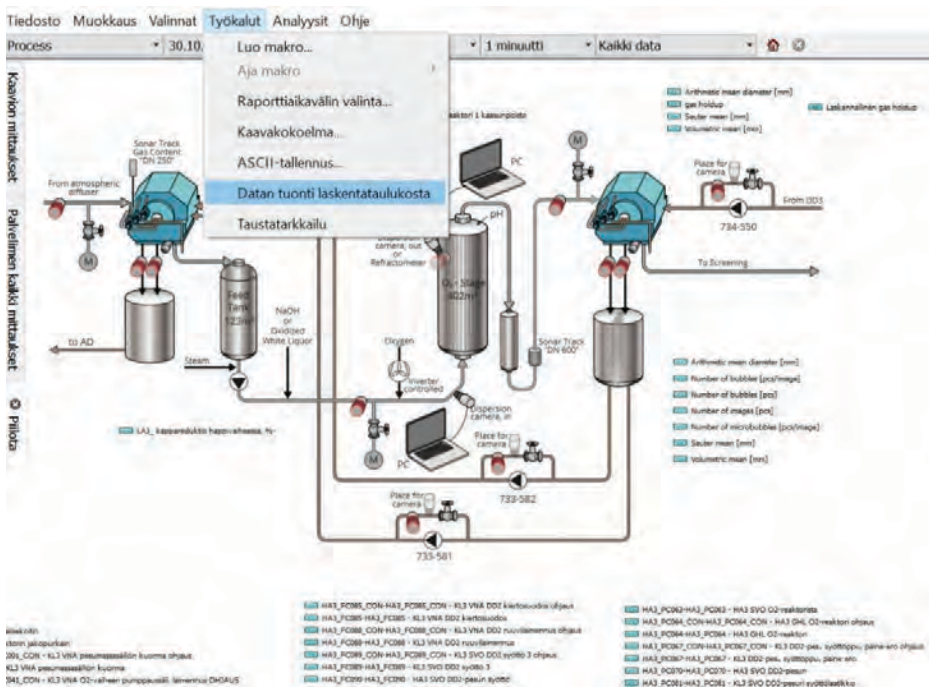


KUVA 2. Uuden ikkunan luonti (Wedge).

Näytölle voidaan tuoda pohjaksi valmis esimerkiksi kuva tai prosessikaavio. Näytön pohjan voi piirtää ja/tai muokata valmista pohjaa. Näytölle tuodaan tietolähteestä halutut tiedot, jotka voidaan asettaa prosessikaavion mukaisille todellisille paikoille ja/tai antaa tietojen olla taulukkomuodossa. Kohteelle voidaan luoda myös alasivuja.

Mittaus-tietojen tuonti edellyttää luonnollisesti, että ne joko luetaan automaattisesti koko ajan tietokantaan tai ne on syötetty manuaalisesti tietokantaan (luotu tietolähde). Mittaus-tietojen syöttäminen manuaalisesti Wedge-järjestelmän tietokantaan tapahtuu Datan tuonti laskentataulukosta (Excel import) -toiminnon avulla (kuva 3). Xamkilla ei ole ainakaan toistaiseksi käytössä suoria tehdasyhteyksiä. Wedgen käyttö etäyhteyteen perustuen on järjestelmän puitteissa täysin mahdollista Wedge Client -ohjelmalla/-toiminnolla. Tämä vaatii kuitenkin osapuolten väliset sopimukset yhteyksien ja datan käytön sallimiseksi.

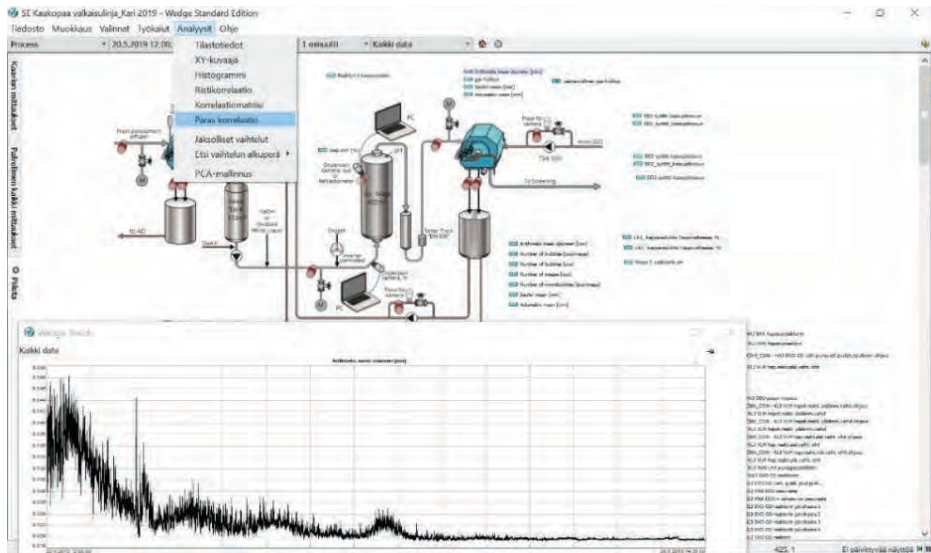
Wedge-ohjelmassa Datan tuonti laskentataulukosta -toiminto mahdollistaa suurenkin datamäärän siirron, mutta tiedonsiirto verkon yli on hidasta. Excel import on tarkoitettu alun perin vähäisiä tietoja täydentäväksi toiminnoksi.



KUVA 3. Datan tuonti laskentataulukosta Wedge-tietokantaan (Wedge).

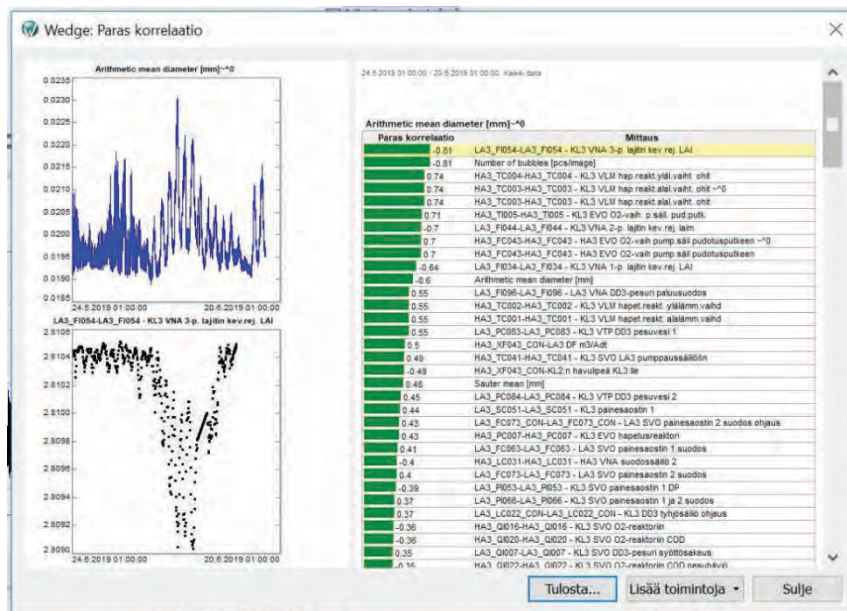
Datan tuontiaika riippuu luonnollisesti taulukon sisältämästä tietomäärästä. Laajan taulukon tuonti (satoja prosessitietoja pitkältä jaksolta) saattaa kestää useita tunteja.

Kun halutut tiedot on tuotu tietokantaan, joko aikaisempaan tai uuteen luotuun tietolähteeseen, ne voidaan poimia johonkin jo luotuun tai uuteen piirtokenttään. Kuvassa 3 näkyy esimerkkinä tehtaan valkaisuvaiheesta luotu pohjakuvaaja ja sen päälle tuodut mittaustiedot (tägit).



KUVA 4. Paras korrelaatio -toiminto (Wedge).

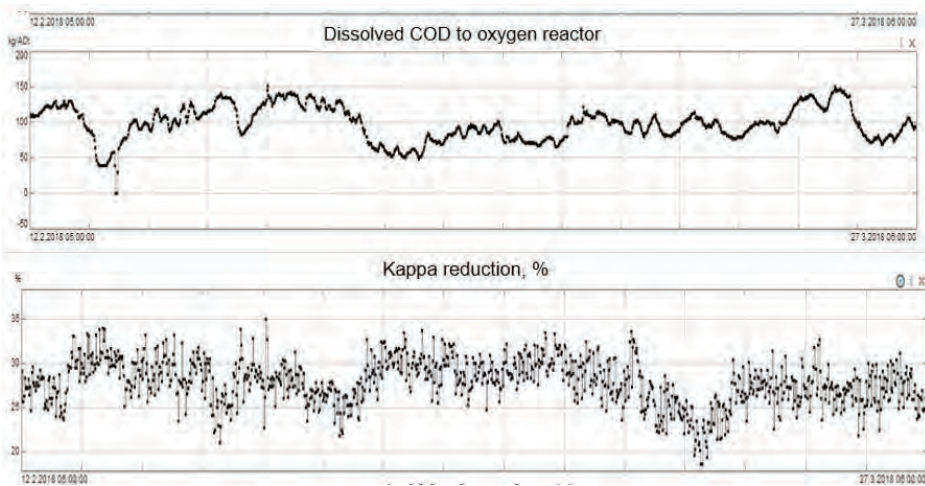
Paras korrelaatio on tehokas toiminto (kuva 4), ja sen avulla löydetään nopeasti jotain muuttujaa vasten olevat eniten korreloivat muuttujat. Sen jälkeen korreloivaa etsintää voidaan tehostaa pienemmällä muuttujamäärällä (kuva 5).



KUVA 5. Wedgen Paras korrelaatio -toiminnon poiminta tietolähteen otoksesta (Wedge).

Huomattavaa on, että korrelaatiokertoimen avulla voidaan vertailla vain signaalien samankaltaisuutta eli korrelaatiokerroin ei tutki signaalien syy-seuraussuhdetta vaan ainoastaan antaa arvion kertoimen muodossa, kuinka yhtenevät signaalit ovat toisiinsa nähden. Vaikka korrelaatio ei tutkikaan kausaalisuutta, menetelmän avulla on helppo löytää signaaleita, joiden välillä on kausaalisuussuhde. (Niemelä 2011)

Muuttujia (tägejä) voidaan poimia yksittäiseen ikkunaan 1–n kpl ja tehdä visuaalisia aikajanan vertailuja. Ikkunasta voidaan helposti leikata aikajanaa tai esimerkiksi yksittäisen muuttujan mitta-alueita. Kyseinen ominaisuus on ollut tähän mennessä erittäin hyödyllinen tehdasdatan sekä koeajojen tulosten tulkinnassa ja erityisesti näiden visualisoinnissa. Kuvassa 6 on esimerkki uusimmasta julkaisusta, jossa visualisoidaan sellutehtaan happivaiheessa tapahtuvan ligniinin poiston tehokkuuden eli kappareduktion sekä pesuhäviön (Dissolved COD) yhteyttä (Käyhkö et al. 2019)



KUVA 6. Trendiesimerkki kahdella muuttujalla (Käyhkö et al. 2019).

Wedgeen voidaan luoda myös kokonaan uusia laskennallisia tägejä olemassa olevista muuttujista. Ohjelma sisältää ison määrän erilaisia aputoimintoja, joiden opastamiseen ei puututa tarkemmin tässä dokumentissa.

YHTEENVETO

Wedge-ohjelma mahdollistaa tehokkaan signaalien silmämääräisen ja tilastollisen tarkastelun. Ohjelma sisältää myös erikoisominaisuuksia, joiden avulla voidaan analysoida joko yksittäistä signaalia tai yleensä pikemminkin suurempaa signaalijoukkoa tarkemmin. Wedge ei kuitenkaan automaattisesti (ilman ohjelmointia) esikäsittele tai lajittele tietoa millään tavalla, vaan se on sinänsä tehokas työkalu prosessin toiminnan havainnointiin ja analysointiin.

Wedge-ohjelma on tarjonnut Xamk Kuitulaboratoriolle tehokkaan avun esimerkiksi selu- ja paperiteollisuuden mittaus- ja prosessitietojen analysointiin. Huolimatta siitä, että mittaustietojen manuaalinen syöttötapa on ollut ajoittain hidasta ja hankalaa, on ohjelma lopulta tarjonnut merkittävän avun korrelaatioiden löytymiseen. Olemme havainneet ja ymmärtäneet mittaustietojen analysoinnin avulla sellaisia riippuvuussuhteita, joita ilman ohjelman käyttöä olisi ollut mahdotonta havaita.

Wedge-ohjelmaan voidaan lisäksi luoda erilaisia makroja, joiden avulla mittaustietojen matemaattisia ristiinkäsittelyjä voidaan edelleen laajentaa. Ohjelma sisältää myös raportointityökaluja, jolloin makrojen ja olemassa olevien toimintojen avulla voidaan luoda hyvin pitkälle automatisoitu informatiivinen prosessin optimointijärjestelmä. Olemme tähän asti tutkineet dataa lähinnä peruskorrelaatiotyökalujen avulla, joten Xamk Kuitulaboratorion TKI-toiminnassa on vielä paljon Wedge-järjestelmään liittyviä hyödynnettäviä kehittämismahdollisuuksia.

LÄHTEET

Häkkinen, J. 2011. Polttokoelaitteiden tiedonkeruujärjestelmän suunnittelu ja toteutus. Automaatiotekniikan koulutusohjelma Tekniikka ja Liikenne, Jyväskylän ammattikorkeakoulu. Opinnäytetyö.

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.

Niemelä, M. J. 2011. Teollisuusprosessien signaalien automaattinen analysointi. Lappeenrannan teknillinen yliopisto. Sähkötekniikan koulutusohjelma. Diplomityö.

Wedge-käyttöopas. 2009. Savcor Forest Oy. Viitattu 30.11.2019. PDF-tiedosto.

RAKENNUSTYÖMAILLA TAVOITTEENA NOLLA TAPATURMAA – SAFECON- HANKKEEN ENSIMMÄISEN VUODEN TULOKSIA SUOMESTA

Taru Potinkara & Noora Haatanen

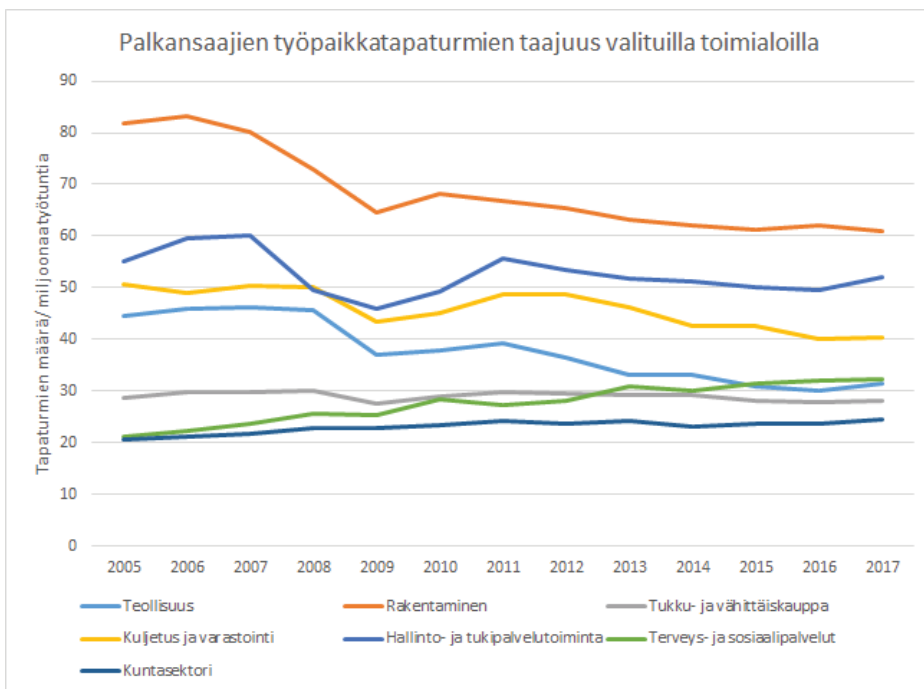
Safecon-hankkeen tavoitteena on parantaa rakennusalan työturvallisuutta ja samalla lisätä alan yritysten tuottavuutta sekä parantaa työolosuhteita. Erityisenä tavoitteena on lisätä organisaation sitoutumista ja tehokkuutta työntekijöiden hyvinvoinnin ja työturvallisuuden parantamiseksi. Tämä voidaan saavuttaa tukemalla ylimmän johdon ymmärrystä työturvallisuuden suhteista yrityksen tuottavuuteen ja tarjoamalla työkaluja systemaattiseen kehittämiseen.

Suomessa on hankkeen ensimmäisen vuoden aikana luotu kontakteja rakennusalan pk-yrityksiin. Yritysten johtoa on haastateltu työturvallisuuskulttuurista, turvallisuushaasteista ja -asenteista sekä arvoista. Yritysjohtajien mielestä työturvallisuuden näkökulmasta hyvä työntekijä on luotettava, rehellinen ja tunnollinen. Hänellä on hyvät sosiaaliset taidot sekä oikeanlainen asenne työhön. Työntekijällä on tarvittava osaaminen, mutta hänen ei kuitenkaan tarvitse olla kyvyiltään mitenkään poikkeuksellinen. Halu tehdä parhaansa riittää.

Alkuperäinen teksti on ilmestynyt venäjänkielisenä Safecon-hankkeen työturvallisuusseminaarissa (SPbGASU, 2019). Hanke on osa Kaakkois-Suomi – Venäjä CBC 2014–2020 -ohjelmaa, jota rahoittavat Euroopan unioni, Venäjän federaatio ja Suomen tasavalta.

JOHDANTO

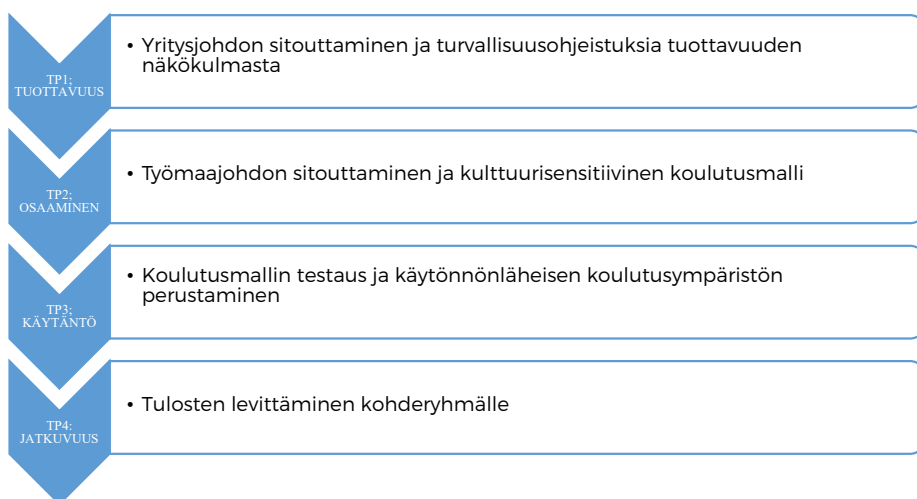
Rakennusteollisuus on yksi riskialteimmista teollisuuden aloista, mikä johtuu erityisesti alan jatkuvasti muuttuvasta luonteesta. Rakennusteollisuuden työtapaturmataajuuden kehitys Suomessa suhteessa muihin toimialoihin on esitetty kuvassa 1. Rakennustyömaiden työturvallisuutta ja erityisesti tapaturmiin vaikuttavia tekijöitä on tutkittu paljon (Mohammadia ym. 2018). Ylimmän johdon sitoutumisella työturvallisuuteen on todettu olevan hyvin merkittävä vaikutus työturvallisuuden ja turvallisuuskulttuurin rakentamisessa. Ylimmän johdon sitoutumiseen vaikuttavia tekijöitä sekä asioita, joilla sitoutumiseen voidaan vaikuttaa, on tutkittu aikaisemmin myös Suomen olosuhteissa (Tappura ym. 2017). Tehdyn haastatteluselvityksen mukaan ylimmän johdon sitoutumista tulee tukea, jotta todellisia tuloksia voidaan saavuttaa. Ylimmän johdon rooli erityisesti muiden alemman johdon motivoinnissa tulee myös huomioida.



KUVA 1. Työtapaturmataajuuden tilastollinen kehitys Suomessa vuosina 2005–2017 (Tapaturmavaikutuskeskus).

Safecon-hankkeen erityisenä tavoitteena on lisätä organisaation sitoutumista ja tehokkuutta työntekijöiden hyvinvoinnin ja työturvallisuuden parantamiseksi. Tämä voidaan saavuttaa tukemalla ylimmän johdon ymmärrystä työturvallisuuden suhteista yrityksen tuottavuuteen ja tarjoamalla työkaluja systemaattiseen kehittämiseen.

Tässä artikkelissa keskitytään Safecon-hankkeen työpaketti yhden (TP1) toimenpiteisiin ja tuloksiin Suomessa hankkeen ensimmäisen vuoden aikana. Kuvassa 2 on kuvattu koko hankkeen työpaketit ja niiden tavoitteet.



KUVA 2. Safecon-hankkeen työpaketit ja tavoitteet.

MENETELMÄT

Hankkeen ensimmäinen vaihe, kohdeyritysten sitouttaminen ja lähtötilanteen kartoittaminen, tehtiin haastattelukyselyn avulla. Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu (Xamk) vastasi Suomessa sijaitsevien yritysten haastatteluista.

KOHDERYHMÄ

Suomen puolella hankkeen kohderyhmänä olivat pienet ja keskisuuret (pk) rakennusyri-tykset. Suurilla rakennusyriyksillä työturvallisuustoimet ovat hyvin rutinoituneita. Lisäksi Suomessa toimii rakennusalan liitto Rakennusteollisuus Ry (RT), joka pyrkii aktiivisesti parantamaan työturvallisuutta erinäisillä hankkeilla, oppailla ja kilpailuilla. Kaikki pk-yri-tykset eivät kuitenkaan ole RT:n jäseniä.

Hankkeen vaikutusten kohderyhmänä ovat Suomen ja Venäjän raja-alueen rakennustyön-tekijät. Hankkeen vaikutukset kohdistuvat erityisesti sellaiseen työntekijäryhmään, joilla on suuri onnettomuusriski, kuten nuoret tai iäkkäät sekä eri kulttuuritaustaiset työntekijät. Suomessa keskitytään erityisesti ulkomaisiin työntekijöihin ja haasteisiin, joita kulttuuriero tuo pk-yritysten työturvallisuuteen.

HAASTATTELUKYSELY

Hankkeen ensimmäisessä vaiheessa (työpaketti 1) otettiin yhteyttä 17:ään kohderyhmän yritykseen sekä puhelimitse että sähköpostilla. Yhteydenotto tehtiin pääasiassa suoraan toimitusjohtajaan. Yhteensä viisi (5) yritystä osallistui haastatteluun. Haastattelut tehtiin yhtä lukuun ottamatta kasvokkain.

Haastattelukysely koostui kolmesta osa-alueesta, joiden tavoitteena oli a) tutustua yrityksen työturvallisuuskulttuuriin, b) tunnistaa mahdolliset haasteet, joihin Safecon-hankkeella voidaan vaikuttaa, sekä c) tarkastella työturvallisuusasenteita.

HAASTATTELUJEN TULOKSET

Työturvallisuuskulttuuri nostettiin merkittävään rooliin haastatelluissa yrityksissä. Työturvallisuudesta huolehtiminen nähdään kaikkien asiaksi. Sitä ei välttämättä mainita erikseen yrityksen arvoissa, koska laadukkaan työn tekeminen pitää sisällään myös hyvän työturvallisuuden.

Vaikka työturvallisuus koetaan kuuluvan kaikkien työtehtäviin, on yrityksissä tarkkaan määritelty työturvallisuusvastuut. Yrityksen koosta riippuen työturvallisuuspäällikkönä toimii joko toimitusjohtaja itse tai erikseen nimetty henkilö. Työturvallisuutta seurataan kaikilla toiminnan tasoilla työmailta aina johtoryhmään ja hallitukseen saakka. Turvallisuustavoitteeksi on yleisesti asetettu nolla tapaturmaa.

TYÖTURVALLISUUS ON KAIKKIEN ASIA

Yritykset tekevät viranomaisvaatimukset täyttävät turvallisuussuunnitelmat sekä yritys- että työmaatasoilla. TR-mittaukset, jolla tarkoitetaan laajasti rakennustyömailla käytössä olevaa työturvallisuuden havaintomenetelmää, sekä tapaturmataajuus ovat yleisesti käytössä. Turvallisuushavaintojen kirjaamiseen on erilaisia käytäntöjä suullisesta ilmoittamisesta sähköisiin työkaluihin. Myös positiivisten turvallisuushavaintojen antamiseen kannustetaan.

Haastatelluissa yrityksissä tapahtuu vuosittain vain muutamia varsinaisia tapaturmia. Lähetä piti -tilanteita raportoidaan jonkin verran enemmän. Tapaturman vakavuudesta riippuu, kuinka asia yrityksessä käsitellään. Suhtautuminen työturvallisuusrikkeisiin vaihtelee yritys- ja työmaakohtaisesti. Suullinen huomautus on käytössä sekä omille työntekijöille että aliurakoitsijoille. Vakavampia sanktioita käytetään vähän. Tilaaja voi sanktiona esimerkiksi poistaa määräaikaisesti kulkuluvan.

Systemaattinen perehdyttäminen oli kaikkien haastateltujen yritysten käytäntönä. Perehdyttämiseen sisältyy niin yritystason asioita kuin yksittäisen työmaan toimintaa. Perehdyttämistä tekevät eri tahot toimitusjohtajasta työmaavastaavaan. Myös tilaaja voi pitää oman perehdytyksensä. Sekä omat työntekijät että aliurakoitsijat osallistuvat perehdytykseen. Tarvittaessa perehdytystä tehdään myös muilla kielillä kuin suomeksi. Yleisesti perehdytyksestä dokumentoidaan työntekijän allekirjoittama perehdytyskaavake.

Muu osaamisen kehittäminen vaihtelee yrityksittäin. Koulutusrekisteriin kirjataan tyypillisesti voimassa olevia pätevyyyksiä, kuten työturvallisuuskortit. Toimihenkilöitä kannustetaan kouluttautumaan. Työntekijöiden osaamisen kehittäminen tapahtuu suurelta osin työssä oppien.

Työtapaturmien välttämiseksi yrityksillä on käytössään erilaisia kannustemuotoja. Toimihenkilöille työturvallisuus voi olla osana tulospalkkausjärjestelmää. Työmailla hyvästä tuloksesta ja työturvallisuustavoitteiden saavuttamisesta saatetaan palkita kakkukahveilla, lounailla, matkoilla tms.

Haastatellut yritysjohtajat kuvaavat suurimmaksi työturvallisuuteen liittyväksi haasteeksi oikeanlaisen asenteen ja työturvallisuuskulttuurin kehittämisen. Suuri rooli on työmaan vastaavalla: ”Työmaa on mestarinsa näköinen.” Tärkeää on noudattaa johdonmukaista linjaa turvallisuusasioissa työmaalla alusta asti. Pienistä perusasioista tulee pitää tinkimättömästi kiinni. Työmaan järjestys ja siisteys antavat kuvan sen turvallisuustilanteesta. Asioiden ennakointi ja niistä viestintä on tärkeää. Kiire aiheuttaa työturvallisuusriskejä.

TYÖTURVALLISUUDELLA VAIKUTUS YRITYKSEN TULOKSEEN

Omaan työturvallisuusasenteeseensa haastatellut johtajat kuvaavat vaikuttavan sen, että työturvallisuudella on merkittävä vaikutus yrityksen tulokseen. Työturvallisuuden koetaan olevan työn tekemisen perusta, jota ei välttämättä edes haluta erikseen nostaa esille. Turvallisuuskäytännöt halutaan pitää yksinkertaisina.

Oman yrityksen turvallisuustoiminta halutaan yhdenmukaistaa siten, että henkilöstä riippumatta toimittaisiin samalla lailla. Vaikka isoja vahinkoja ei juuri tapahdu, halutaan pienimpiäkin välttää. Viestintä kaikilla organisaatioiden tasoilla on tärkeää. Työturvallisuuden kehittämiseen on pystyttävä varaamaan riittävästi aikaa.

Työntekijöiden sitoutumisen työturvallisuuteen nähdään olevan riippuvainen yhteisestä asenteesta ja siitä, koetaanko työturvallisuus kaikkien yhteisenä velvoitteena. Työntekijöiden keskinäinen ryhmäkuri ja ryhmähenki ovat vahvassa roolissa.

Työmailla perusasioiden tulee olla kunnossa. Kortit ja koulutukset sekä perehdytys hoidetaan. Taataan riittävät turvallisuusvälineet ja siisteystaso yms. puitteet työlle. Sitoutuminen työturvallisuuteen vahvistetaan perehdytyskaavakkeeseen tulevalle allekirjoituksella.

Työntekijöillä koetaan olevan monenlaisia mahdollisuuksia vaikuttaa työturvallisuuteen. Parannusehdotuksia toteutetaan maralalla kynnyksellä. Työmaiden yhteisissä kokouksissa otetaan esille riskitekijöitä. Työntekijä voi vaikuttaa työtapoihin. Työntekijöille annetaan heidän haluamiaan suojavälineitä.

MONENLAISTA MOTIVAATIOTA

Työntekijöitä motivoi turvallisuuteen halu välttää fyysisiä vammoja. Oma tiimiä tai työnjoh-toa ei haluta jättää pulaan. Halutaan välttää rangaistus tai henkinen vamma, jonka mahdol-

linen onnettomuus jättää, tai halutaan saada mahdollinen palkkio. Turvallinen työskentely voi myös olla opittu tapa. Hyvässä hengessä työskentely tekee töissä olemisesta mukavaa.

Turvallisuussäännöksiä saatetaan rikkoa, koska sääntöjen noudattamisen koetaan vaikeuttavan tai hidastavan työntekoa tai vaikuttavan heikentävästi yrityksen tuloihin. Työntekijöillä voi olla myös omat sääntönsä, joita he noudattavat, eikä virallisia sääntöjä muisteta. Lisäksi voi vaikuttaa yleinen välinpitämättömyys ja se, etteivät muutkaan noudata sääntöjä. Jotkut työntekijät haluavat ottaa riskejä ja esittää rohkeaa. Toiset voivat olla mukavuudenhaluisia tai kerrassaan laiskoja. Työturvallisuuden laiminlyönti voi olla myös opittu tapa.

Haastatellut yritysjohtajat kuvasivat hyvän työntekijän tärkeimmiksi ominaisuuksiksi luotettavuuden, rehellisyyden ja tunnollisuuden. Hyvällä työntekijällä on hallussaan riittävät sosiaaliset taidot ja oikea asenne. Työntekijällä on riittävä osaaminen vaadittaviin työtehtäviin, ja hän on monitaitoinen ja nopea.

JOHTOPÄÄTÖKSET

Yritysjohtajat tuntuvat haastatteluiden perusteella suhtautuvan vakavasti työturvallisuuden parantamiseen. Tavoitteeksi asetettu nolla tapaturmaa haastaa jatkuvaan kehittämiseen. Satsaukset työturvallisuuden kehittämiseen nähdään investointeina yrityksen tuloksen kasvattamiseksi. Haastatelluilla yritysjohtajilla oli aito huoli yhä paremman turvallisuuskulttuurin rakentamisesta. Turvallisuus työmaille nähdään kaikkien yhteisenä asiana, jonka parantamiseen eivät pelkät lait ja määräykset riitä.

Haastattelujen avulla saatiin sitoutettua neljä suomalaista rakennusalan pk-yritystä mukaan hankkeeseen. Tämä tarkoittaa, että myöhemmin projektin aikana ne osallistuvat pilottiryhmään, joka testaa rakennusteollisuuden työturvallisuuden parantamiseksi luotua uutta toiminta- ja koulutusmallia. Tavoitteena on luoda viestintävälineet johdon ja työntekijöiden välille ottaen huomioon ulkomainen työvoima ja eri-ikäiset työntekijät. Yrityksillä on myös aktiivinen rooli uusien työkalujen ja yhteisten työpajojen luomisessa.

Mitä projektilta voi odottaa seuraavaksi? Kohdeyritysten kanssa järjestetään työpaja, jossa käsitellään haastatteluiden tuloksia ja tehdään suunnitelma havaittujen haasteiden ratkaisemiseksi. Haastattelujen ja työpajojen tuloksena laaditaan ylimmän johdon ohjeet erilaisille työturvallisuuden näkökulmille. Tulokset esitellään myös erillisessä artikkelissa ja ylimmän johdon seminaarissa kevään 2020 aikana.

Toinen hankkeen samansuuntainen tavoite on toteuttaa Pietariin turvapuisto suomalaisen konseptin avulla. Hankkeen yhteydessä on tutustuttu referenssikohteisiin, Espoon turvallisuuspuistoon ja Kuopion työterveys- ja työturvallisuuskoulutuskeskukseen. Suomalaisille yrityksille Pietarin turvapuisto antaa mahdollisuuden niin johtotasolle kuin rakennusalan työntekijöille tuoda työturvallisuuskoulutus kulttuurinäkökulmasta täysin uudelle tasolle.

LÄHTEET

Mohammadia, A., Tavakolana, M., Khosravi, Y. 2018. Factors influencing safety performance on construction projects: A review. *Safety Science* 109 (2018) 382–397.

St. Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering (SPbGASU), 2019. The 4th All-Russian Scientific and Practical Conference with international participation “Safety in Construction” November 21 - 22, 2019. Conference proceedings.

Tapaturmavakuutuskeskus (TVK), työtaturmatilaston erillistoimitus, tilastoaineiston toimitus sähköpostilla 14.10.2019 TVK/Janne Sysi-Aho.

Tapaturmavakuutuskeskus. Työtaturmatilastot toimialoittain. Saatavissa: <https://www.tvk.fi/tietopalvelu-ja-julkaisut/tilastot/tyotaturmatilastot/> [viitattu 7.10.2019]

Tappura, S., Nenonen, N., Kivistö-Rahnasto, J. 2017. Managers’ viewpoint on factors influencing their commitment to safety: An empirical investigation in five Finnish industrial organisations. *Safety Science* 96 (2017) 52–61.

PURKU- JA HUKKAPALOJEN HYÖDYNTÄMINEN RAKENTAMISESSA, CLT-HUKKAPALOJEN LUOMAT MAHDOLLISUUDET

Katja Ahola & Ville Rätty

Reuse-hankkeessa edistetään rakentamisen kiertotaloutta etsimällä hukka- ja purkumateriaaleille uusia käyttökohteita. CLT-levyjen valmistuksessa syntyvä hukka on tunnistettu yhdeksi vajaan hyödynnetyksi puujätteenä, joka voitaisiin ohjata nykyistä tehokkaammin uudelleen käyttöön energiahyödyntämisen sijaan. CLT-levyillä on paljon hyviä ominaisuuksia, joita ovat muun muassa työstettävyys, kantavuus ja lämmön eristävyys, jotka säilyvät myös hukkapalojen ominaisuuksina. Kiertotalouden periaatteiden mukaisesti niihin ladattu arvo ja hyvät ominaisuudet tulisi säilyttää mahdollisimman hyvin.

Hankkeen alkuvaiheessa on kirjattu ylös lukuisia ideoita CLT-hukkapalojen hyödyntämiseksi muun muassa keittiöissä, saunoissa, portaissa ja pienissä rakennuksissa. Ideoinnin pohjalta lähdettiin työstämään CLT-hukkapaloista valmistettavan jätekatoksen suunnittelua, johon hankehenkilöstön lisäksi ovat osallistuneet Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulun rakennustekniikan opiskelijat.

Suunnitelmiin pohjautuen hankkeessa suunnitellaan jätekatoksen toteutusta pilottina, joka pyritään toteuttamaan yhdessä kumppaneiden kanssa vuoden 2020 aikana. Pilotoinnissa testataan myös varsinaisen pilotin ympärille rakentuvaa toimintamallia, jossa kiertotalousyrittäjät pystyisivät tuottamaan pieniä rakennuksia kannattavasti hyödyntämällä hukkamateriaaleja. Tavoitteena on, että hukkapalojen hyödyntäminen tulee jatkuvaksi toiminnaksi ja se innoittaa kiertotalousyrittäjiä miettimään myös muita tuoteideoita ja muiden materiaalien hyödyntämistä entistä enemmän.

JOHDANTO

REUSE – Kiertotalousmalleilla rakentamisen uudelleenkäyttöön uutta osaamista ja kilpailukykyä -hanke on rakentamisen kiertotalouteen keskittyvä alueellinen kehittämisshanke, jonka toteutuksesta vastaavat yhteistyössä Kinno ja Xamk. Hanketta rahoittaa Kymenlaakson liitto Euroopan aluekehitysrahastosta. Hankkeessa keskitytään erityisesti rakennusten purkuvaiheen materiaalivirtoihin, mutta mukana on myös rakentamisen aikana syntyvän

hukan hyötykäyttö. Tavoitteena on löytää erilaisia toimintamalleja, joiden avulla voidaan edistää rakennusalan materiaalitehokkuutta niin, että materiaalit voitaisiin käyttää mahdollisimman hyvin uudelleen ns. korkean arvon käytössä. Tällä hetkellä suuri osa materiaaleista päättyy maarakentamiseen tai hyödynnettäväksi energiana.

Rakentamisesta ja purkamisesta aiheutuvat jätemäärät ovat merkittäviä. Rakentaminen (sisältää purkamisen) tuotti yhteensä 14,3 miljoonaa tonnia jätettä, ja siitä syntyy toiseksi eniten jätettä kaivostoiminnan ja louhinnan jälkeen. Rakentamisen osuus oli noin 12 prosenttia Suomen 117 milj. tonnista jätettä. Rakentamisesta syntyi rakentamisen ja purkamisen jätettä 1,6 milj. tonnia. Pääosin rakentamisessa syntyvistä jätteistä on kuitenkin maamassoja 13 milj. tonnia. Jättemäärät vaihtelevat vuosittain riippuen rakentamisen ja purkamisen määrästä, joihin vaikuttaa taloustilanne rakennuskannan ohella. Jättemäärät kuitenkin ovat merkittäviä. (Ramate-työryhmä 2014, 12, Suomen virallinen tilasto (SVT) 2019)

Euroopan unioni edistää jätteiden määrän vähentämistä ja niiden hyödyntämistä materiaalina vuonna 2008 voimaan tulleen jätedirektiivin (2008/98/EY) avulla, jossa on tavoitteeksi asetettu 70 prosentin kierrätystavoite vuoteen 2020 mennessä. Tämä tavoite kohdistuu ei-vaarallisiin rakennus- ja purkujätteisiin. Rakentamisen kierrätysasteen on arvioitu olevan Suomessa 26 prosenttia, joka ei sisällä jättemateriaalin hyödyntämistä energiana (arvio vuodelta 2014). Suomessa toimintaa ohjataan myös kansallisella lainsäädännöllä, josta tulee muun muassa velvollisuus noudattaa etusijajärjestystä jätteiden käsittelyssä. Ensisijaisesti jätteiden vähentämisen jälkeen etusijajärjestyksessä jätteet tulisi hyödyntää uudelleen materiaalina. (Ramate-työryhmä 2014, 11–12, 14)

Suomessa syntyvästä rakennus- ja purkujätteestä puupohjaisia jätteitä on 41 prosenttia, josta hyödynnetään vain pieni osa materiaalina ja suurin osa päättyy hyödynnettäväksi energiana. Puujäte vaihtelee laadultaan paljon, ja sitä syntyy monista eri vaiheista ja toiminnoista, esimerkiksi hukkapaloista, purkamisesta, pakkauksista ja muotituksesta. Siinä saattaa olla kosteusvaurioita ja epäpuhtauksia, jolloin hyödyntäminen energiana on järkevää. Energiaksi päättyy myös sellaista puuta, joka on puhdasta ja käyttökelpoista. Tällaisen puhtaan puun hyödyntämistä tulisi lisätä. Puuhun on sitoutunut ilmakehän hiilidioksidia, ja se osaltaan vähentää ilmakehän hiilidioksidin määrää, jos pystytään lisäämään puun käyttöä materiaalina. Esimerkiksi lamellihirsitaloissa hiilivarasto on noin 260 kg CO₂-eqv/m² (Kurnitski 2019). Hiilivarasto säilyy koko rakennuksen elinkaaren ajan, mutta senkin jälkeen se on mahdollista säilyttää hyödyntämällä materiaalit uudelleen energiahyödyntämisen sijaan. (Ramate-työryhmä 2014, 12)

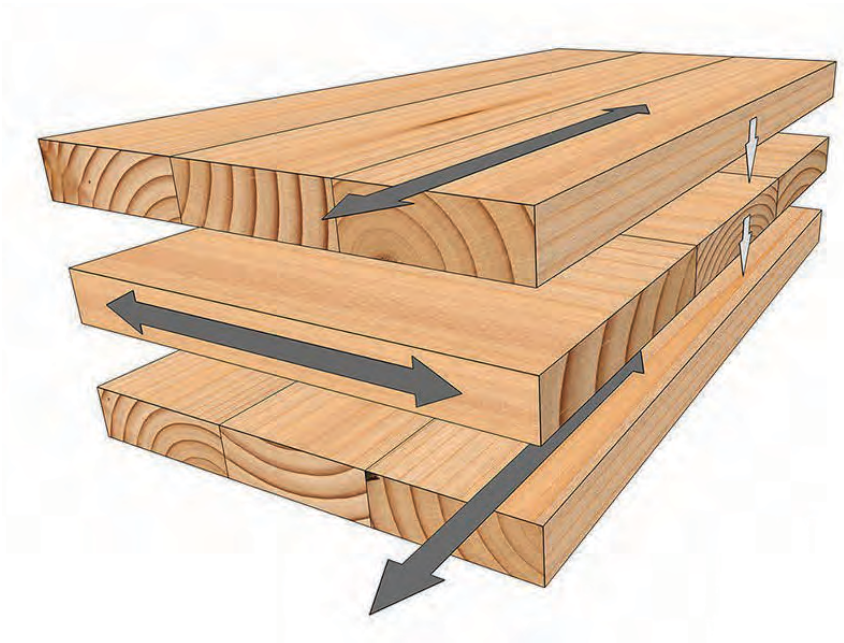
Reuse-hankkeessa CLT-levyjen valmistuksessa syntyvä hukka on tunnistettu yhdeksi potentiaaliseksi puujätteeksi, joka voitaisiin ohjata nykyistä tehokkaammin uudelleen käyttöön. Valmistuksen aikana syntyvä hukka on puhdasta uutta materiaalia, jonka hyödyntämisessä ei ole samoja haasteita kuin sekalaisen käytetyn puujätteen hyödyntämisessä. Kuitenkin

CLT-levyjen valmistuksesta hukka usein ohjautuu polttoon, koska levyjen valmistajilla ei ole resursseja tehdä itse hukasta tuotteita. Tämä avaa hyviä mahdollisuuksia pienille toimijoille tehdä yhteistyötä CLT-levytehtaiden kanssa ja edistää kiertotaloutta rakennusalalla.

Tässä artikkelissa keskitytään CLT-levyjen hukan hyötykäytön edistämiseen kokoamalla yhteen REUSE-hankkeen ja Xamkin opiskelijoiden tekemät havainnot ja löydettyt mahdollisuudet CLT-levyjen hyötykäytön mahdollisuuksista uusien tuotteiden valmistuksessa.

CLT MATERIAALINA

Ristiinlaminoidut massiivipuulevyt eli CLT-levyt ovat massiivipuuisia rakennusmateriaaleja, jotka koostuvat ristikkäin liimatuista lamelli- eli puulevykerroksista. CLT on lyhenne sanoista Cross Laminated Timber. Yleisin CLT-levyissä käytetty puulaji on kuusi, mutta CLT-levyjä valmistetaan myös männystä ja lehtikuusesta. Kuvassa 1 on esitetty CLT-levyn perusrakenne. Ristiinlaminoinnin ansiosta CLT on luja ja tiivis rakennusmateriaali. Liimauksessa käytetään ainoastaan ympäristöystävällisiä formaldehydittömiä liimoja. CLT-levyssä on liimattuja kerroksia yleensä kolme, viisi, seitsemän tai kahdeksan. Stora Enso valmistaa CLT:t suurina, 2,95 x 16 metrin levyinä, mikä minimoi levyjen välisten puskuliitosten määrän. Kerroksien paksuudet vaihtelevat 20–80 millimetriin riippuen halutusta levyn paksuudesta. Stora Enso tuottaa CLT-levyjä 60–400 millimetrin paksuisina. (Stora Enso 2019) Muilta valmistajilta löytyy tehtaita, joissa voidaan tuottaa jopa 4 x 18 metrin kokoisia levyjä. Levyn paksuus valitaan käyttötarkoituksen mukaan, ja se voi olla 57–500 millimetriä. (Hoisko 2019)



KUVA 1. CLT:n rakenne (mukaellen Reidmiddleton 2017).

CLT on rakennusmateriaalina kustannustehokas, koska suurelementit ovat nopeita valmistaa ja koota. Tuote on kuiva, ja puun erinomaiset lämpöön liittyvät ja kosteutta tasaavat ominaisuudet mahdollistavat jopa eristeettömän rakentamisen. Lisäksi CLT:n etuina ovat rakenteellinen kantavuus ja stabiilius, yksilöinnin ja käyttömahdollisuuksien monipuolisuus sekä CLT:n ekologisuus ja hiilidioksidivaikutukset. (Hoisko 2019)

MITEN CLT-HUKKAPALAT SYNTYVÄT CLT-TEHTAALLA?

Kun betonielementtejä valmistetaan, ne muotitetaan valmiiksi. Esimerkiksi ovi- ja ikkuna-aukkojen kohdalta ei synny hukkaa, koska näihin kohtiin betonimassaa ei tule (ks. kuva 2). Betonielementtien sahaus ja muu työstö suunnitellaan minimiin, ja yleensä betonielementeistä valmistuksen jälkeen sahataan enää esimerkiksi ontelolaattojen pienet loveukset ja aukotukset. Betonielementin sahausessa syntyy pölyä, joka vaatii järeämmät työkalut kuin puu.



KUVA 2 (vasen) ja 3 (oikea). Betonielementtien valmistustekniikka poikkeaa CLT-elementtitekniikasta (Rakennusteollisuus 2019, Hoisko 2019).

CLT-elementit valmistetaan suorakulmaisina elementteinä, ja niiden sahaus on helppoa elementin muodostumisen jälkeen, kun taas aukkojen varaus etukäteen on hankalaa. Massiivipuulevyt ladotaan ristikkäin määrämittäisinä. Työstöt levyihin tehdään tehtaalla CNC-koneilla, jolloin aukkojen ja varausten tekeminen on erittäin mittatarkkaa ja helppoa. Yleensä pintakerroksen puu on valikoitua, eli se voidaan jättää verhoilematta. CLT-massiivipuuelementeistä rakennettaessa näkyviin jäävä pinta hiotaan ja käsitellään niin, että puunsyyt jäävät pinnoitteen alta näkyviin. (Hoisko 2019, Stora Enso 2019)

Opiskelijaryhmä perehtyi kevään 2019 aikana CLT-hukkapalojen muodostumiseen ja niiden hyödyntämismahdollisuuksiin. Opiskelijoiden tekemien kyselyiden perusteella CLT-levyvalmistuksessa syntyneen hukan määrä on karkeasti 10–20 prosenttia. Hukan määrä vaihtelee eri yrityksissä, mutta tätä kyselytietoa voidaan käyttää tässä oletettuna lähtökohtana. Selvityksien mukaan nykyinen käytäntö on, että asiakas (yleensä rakennusliike) saa päättää,

haluaako hukkapalat elementtien mukana työmaalle, jolloin kyseiset palat ovat ovi- ja ikkuna-aukkojen kohdalla sääsuojana. Palat päätyvät tällöin suurella todennäköisyydellä polton kautta energiaksi. Tällöin palat kastuvat ulkona, eikä rakennusliikkeillä ole resursseja varastoida paloja tai tarvetta markkinoida paloja eteenpäin, koska saavat palat ”kaupanpäälisenä”. Jos taas hukkapalat jäävät tehtaalle, ei tehtaallakaan ole tiloja varastoida hukkapaloja, ja myös nämä palat päätyvät usein polttoon. Tässä kuitenkin havaittiin eri tehtailla olevan erilaisia käytäntöjä, ja osa tehtaista myy jo nyt hukkapaloja huonekaluteollisuudelle.

CLT:n etuna muihin hukkapaloihin nähden on se, että levyt valmistetaan tehtaalla kuivissa olosuhteissa. Koska elementtivalmistuksen tehokkuus perustuu sarjatuotantoon, myös hukkapalojen koot ovat toistuvia. Verrattaessa tällaisia hukkapaloja vaikkapa työmaaolosuhteissa muodostuviin uuden lautamateriaalin hukkapaloihin ero on selkeä. CLT-levyjien valmistuksessa hukkapalat ovat isokokoisia, ja jos ne saadaan talteen jo tehtaalta, on materiaali kuivaa ja hyvälaatuista.

PILOTOINTIEN IDEOINTI JA RAJAUKSET

Hanketyön alkuvaiheessa on kirjattu ylös lukuisia ideoita CLT-hukkapalojen hyödyntämiseksi, ja hankehenkilöstön lisäksi ideointiin ovat osallistuneet Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulun rakennustekniikan opiskelijat. CLT-hukkapaloja on hyödynnetty jo jonkin verran erityisesti huonekaluteollisuudessa, mutta Kaakkois-Suomessa CLT tuntuu olevan vielä melko tuntematon tuote, saati sen valmistuksessa muodostuva potentiaalinen sivuvirta.

Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulussa on jo aiemmin rakennettu CLT-hukkapaloista pienimuotoisia rakennuksia, esimerkiksi työpajassa Kouvolan kampuksella keväällä 2018. Kouvolan kampuksella on käytössä kaksi hiljaista huonetta, joitka on rakennettu CLT:stä (ks. kuva 4).



KUVA 4. CLT-paloista valmistettu Silent Room Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulun Kouvolan kampuksella (kuva Ville Rätty).

Ideointivaiheessa löydettiin, keksittiin ja kehiteltiin erilaisia vaihtoehtoja, joita useampia tutkittiin tarkemmin. Mainittakoon muun muassa, että opiskelijaryhmä Gröndahl Maiju, Pessala Noora ja Vartiainen Aino kysyivät porras-, laude- ja keittiökalustevalmistajilta, käyttävätkö yritykset nykyisin CLT:tä tai CLT-hukkaa, onko käytöllä edellytyksiä ja mitä on käytön esteinä.

Portaiden rakentaminen CLT-hukkapaloista selvitettiin kyselemällä asiasta muutamalta porrasvalmistajalta, jotka kaikki olivat kiinnostuneita aiheesta. Heiltä oli jo aiemmin kysytty, olisiko heillä käyttöä hukkapaloille. Ongelmana nähtiin CLT-hukkapalojen paksuus ja kustannukset. Paksuimmat portaissa käytettävät levymateriaalit ovat noin 40 millimetriä, mutta CLT-levyt ovat näitä paksumpia. Ohentaminen tulisi kyselyn mukaan porrasvalmistajille liian kalliiksi, joten siihen ei kannata ryhtyä. Eräs porrasvalmistaja kertoi, että heillä oli käytössään CNC-kone, mutta koneen terät oli mitoitettu niin, ettei sillä pysty tekemään isompia työstöjä paksuun materiaaliin. CLT-tehtaista voisi kysyä, olisiko siellä mahdollista ohentaa CLT-paloja, vai voisiko palojen työstö olla esimerkiksi kuntouttavaa työtoimintaa. Kyseinen porrasvalmistaja uskoi, että jossain vaiheessa voisi tulla kohteita, joissa hukkapaloja voisi soveltaa.

CLT:n käyttö saunanlauteiden valmistuksessa ei tällä hetkellä ole kovinkaan yleistä, mutta yksittäisiä saunoja on saattanut olla esillä asuntomessuilla (Seinäjäki). Opiskelijat kysyivät CLT:n käytöstä muutamalta laudevalmistajalta, joista yksikään ei ollut käyttänyt CLT:tä lauteiden valmistukseen. Myös laudevalmistajat näkivät ongelmana CLT:n paksuuden ja kustannukset. Yrityksillä ei ole valmiuksia työstää CLT:tä, ja raaka-aine on liian kallista. Yrityksien edustajat olivat sitä mieltä, että jos paloja saisi halvalla, asiaa voisi harkita.

Opiskelijoiden haastattelemat keittiökalustevalmistajat eivät innostuneet CLT-hukkapalojen mahdollisuuksista, vaan kertoivat, että keittiökalusteet ovat räätälöityjä mittailaustuotteita. CLT-paloista on yksittäisissä hankkeissa tehty jo paljon yksittäisiä huonekaluja. Tässä on loistava bisnesmahdollisuus paikallisellekin puumuotoilu- ja käsityöosaamiselle.

Isona mahdollisuutena nähtiin erilaiset pienet rakennukset: jätekatokset, grillikatokset, leikkimökit, meluaidat, pihasaunat ja varastorakennukset. Tämä mahdollisuus nähtiin hyvin helposti toteutettavana, monistettavana ja potentiaalisena liiketoimintaideana.

IDEOINNIN TULOKSENA JÄTEKATOKSEN SUUNNITTELU

Ideoinnin pohjalta lähdettiin työstämään CLT-hukkapaloista valmistettavan jätekatoksen suunnittelua. Alustavaan suunnitteluun osallistuivat opiskelijat Shayleen Tuominen ja Natalie Mattila lehtorien Jani Pitkänen ja Katja Ahola ohjaamina. Ensimmäinen jätekatos suunniteltiin Kouvolan Asunnoille Kouvolan Mäyräkorpeen, mutta kyse oli tässä kohdin vielä luonnoksesta eikä tarkempia suunnitelmia tai sopimuksia rakentamisesta tähän osoitteeseen

ole tehty. Siksi jätekatos haluttiin suunnitella moduulimittaiseksi, ja sitä voidaan kohteen tarpeen mukaan isontaa tai pienentää alkuperäisestä. Ajatuksena on, että jätekatos saataisiin rakennettua ainakin yhdelle tilaajalle kevään 2020 aikana Reuse-hankkeen pilottina.

Koska CLT-hukkapalojen työstäminen nähtiin ehkä yllättävänkin hankalana porras- ja laudevalmistajien suunnasta, syntyi kevään 2019 aikana idea, että hukkapalojen työstö pitää ainakin alkuvaiheessa teettää kolmannella sektorilla kuntouttavana työtoimintana, jotta kokonaisuudesta saadaan kaikkien kannalta mielekäs ja kannattava. Tämä uusi toimija hakisi CLT-hukkapalat elementtitehtailta, tekisi yksinkertaisen mutta aikaa vaativan työstövaiheen ja sen jälkeen myisi palat eteenpäin. Tästä saattaa löytyä oivia mahdollisuuksia tulevaisuuden kiertotalousyrittäjille.

JOHTOPÄÄTÖKSET

Vaikka hanke on vasta puolessa välissä, CLT-hukkapalojen potentiaalin voidaan jo tässä kohdin todeta olevan merkittävä. Täysin puhdasta ja tasalaatuista raaka-ainetta päätyy valmistustehtailta polttoon. Tähän on kehitettävä parempia prosesseja, jotka hyödyttävät kaikkia osapuolia. Jos hukkapalojen hinnoittelu rajaa tällä hetkellä merkittävästi täysin puhtaan materiaalin hyödyntämismahdollisuuksia, olisi hyvä miettiä hukkapalojen hinnoittelua uudelleen. Jos tehdas saisi hukkapaloista selkeästi paremman taloudellisen hyödyn kuin hukkapalojen poltosta ja pääsisi samalla vaivattomasti hukkapaloista eroon eikä materiaalin käytöstä aiheutuisi raaka-ainetta myyvälle CLT-yritykselle kilpailevaa liiketoimintaa, taloudellisia esteitä ei pitäisi olla.

CLT-hukkapalat muodostavat hyvän mahdollisuuden uudentilaiselle kiertotalousyrittäjyydelle. Hukkapaloja pitää todennäköisesti työstää ennen kuin ne kelpaavat esimerkiksi pienille rakennusyrittäjille tai porras- ja laudevalmistajille. Esimerkiksi moduulipalojen reunat pitää työstää liitoksia varten tai itse levyä pitää ohentaa. Myöhemmässä vaiheessa on oletettavaa, että sama toimija voi noutaa tehtaan hukkapalat, työstää ne ja myydä valmiina tuotteina, ovat ne sitten portaita tai valmiita jätekatoksia paikalleen rakennettuina.

LÄHTEET

Hoisko. 2019. Hoisko. www-sivusto. Saatavissa: www.hoisko.fi. [Viitattu 6.9.2019].

Kurnitski J, Ahmed K, Jyrkkä P, Hasu T. 2019. NERO – Cost reduction of new nearly zero energy wooden buildings in the northern climate. Kouvolan asuntomessutalojen energia-tehokkuus ja hiilijalanjälki 25.6.2019.

Rakennusteollisuus. 2019. Elementtirakentamisen historia. Kuva elementtien valmistuksesta. www-sivusto. Saatavissa: <http://www.elementtisuunnittelu.fi/fi/valmisosarakentaminen/elementtirakentamisen-historia>. [Viitattu 6.9.2019].

Ramate-työryhmä 2014. Rakentamisen materiaalitehokkuuden edistämishjelma. Ympäristöministeriö. Saatavissa: https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/135172/YMra_17_%202014.pdf?sequence=2&isAllowed=y. [Viitattu 11.9.2019].

Reid Middleton. Timber Construction Using CLT. 2017. Blogikirjoitus. 21.2.2017. Saatavissa: <http://www.reidmiddleton.com/wp-content/uploads/2017/02/Blog-170218-TimberConstruction-Figure.jpg>. [Viitattu 6.9.2019].

Stora Enso CLT. 2019. Stora Enso. www-sivusto. Saatavissa: <https://www.puuinfo.fi/sites/default/files/CLT%20image%20brochure%20FI.pdf>. [Viitattu 6.9.2019].

Suomen virallinen tilasto (SVT): Jättilasto ISSN=1798-3339. 2017. Helsinki: Tilastokeskus. Saatavissa: http://www.stat.fi/til/jate/2017/jate_2017_2019-07-09_tie_001_fi.html. [Viitattu:10.9.2019].

ENERGIATEHOKKUUDEN PARANTAMINEN TARPEEN MUKAISEN ILMANVAIHDON AVULLA AKTIIVI- JA VAJAAKÄYTTÖISISSÄ RAKENNUKSISSA SISÄILMANLAATU HUOMIOIDEN

Erja Tuliniemi & Hannu Sarvelainen & Tuija Korpela & Maunu Kuosa

Aikaisempien selvitysten perusteella useat vajaakäyttöiset kiinteistöt käyttävät yhtä paljon energiaa kuin aktiivisesti käytössä olevat kiinteistöt. Joskus ilmanvaihto on pois päältä energian säästämiseksi, mikä on haitallista rakennukselle ja sen käyttäjille. Lisäksi aktiivisesti käytössä olevissa kiinteistöissä on käyttötarkoitukseen sopimaton ilmanvaihto. Projektin tavoitteena on energiankäytön optimointi vajaakäyttöisissä kiinteistöissä ja ilmanvaihdon optimointi aktiivisesti käytössä olevissa kiinteistöissä. Teoreettisessa osassa tarkastellaan ilmanvaihdon ja lämmityksen periaatteita. Käytännön osa sisältää mittauksia ilmanvaihtokoneiden lämpötilatasoista ja sähkönkulutuksesta. Sisäilmaolosuhteiden osalta tarkastellaan hiilidioksidimäärää, lämpötilaa ja suhteellista ilmankosteutta. Tuloksena saadaan kehitettyä energiatehokkuutta tarpeen mukaisen ilmanvaihdon avulla. Tuloksien pohjalta kootaan ohjeistus energiatehokkaaseen toimintaan rakennuksen käytön osalta. Tätä voidaan hyödyntää kansallisesti yrityksissä ja kunnissa energian säästämiseksi ja terveyden edistämiseksi.

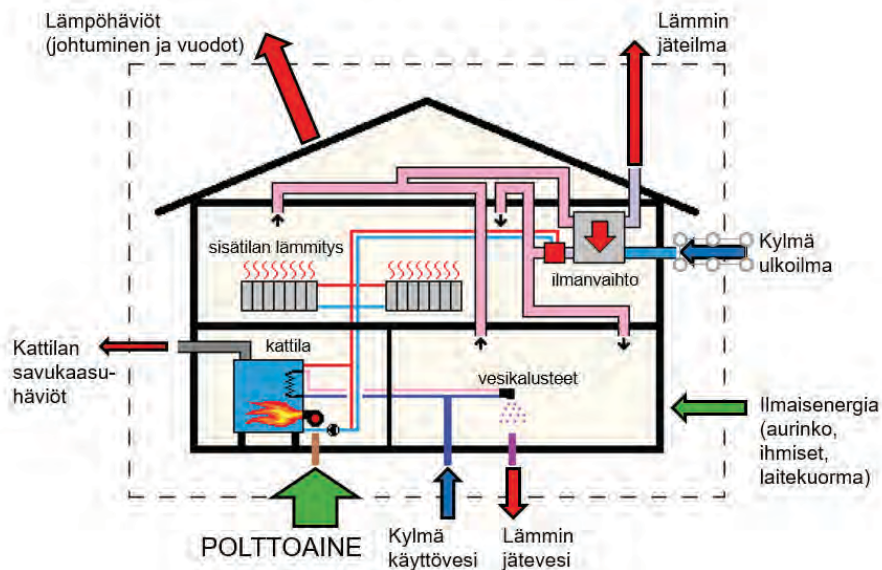
JOHDANTO

Energiatehokkuuden parantaminen tukee EU:n ilmasto- ja energiapolitiikan tavoitteita luonnonvarojen säästämiseen, kasvihuonekaasupäästöjen vähentämiseen ja ilmastomuutoksen hillitsemiseen (Ympäristöministeriö 2018). Euroopan parlamentin ja neuvoston asettamat direktiivit ohjaavat rakennusten energiatehokkuuden parantamista, ja keskeisiksi energiatehokkuuden parantamisen keinoiksi nostetaan vähäpäästöiset lämmitysjärjestelmät, tehostettu lämmöntalteenotto ja uusiutuvat energialähteet (Direktiivi 30.5.2018/844/EU). Suomi on monissa energiansäästötoimissa ja energiankäytön tehokkuudessa maailman johtavia maita. Suomessa on käytössä kestävä ja hyvää rakentamista ohjaava rakentamismääräyskokoelma asetuksineen (Ympäristöministeriö 2019). Hyvän rakennuksen lähtökohta on hyvä sisäilma. Tutkimusten mukaan energiatehokkaassa rakennuksessa on parempi sisäilma verrattuna tavanomaiseen rakennukseen (Kephalopoulos ym. 2017).

Suomessa käytetystä energiasta kuluu 25 prosenttia rakennusten lämmitykseen (Tilastokeskus 2018). Aikaisempien selvitysten perusteella ilmanvaihdon lämpöenergian kulutus on tyypillisesti 60 prosenttia rakennusten lämpöenergian kulutuksesta. Tämän vuoksi rakennuksen lämmitystä ja ilmanvaihtoa on järkevä optimoida rakennuksen käyttötarkoitukseen nähden. Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulussa tätä asiaa on tutkittu ETKOT-hankkeessa (energiatehokkuuden kehittäminen optimoimalla toimintaa). Hankkeen päärahoittaja on Euroopan aluekehitysrahasto, Kymenlaakson liitto. Tässä artikkelissa esitetään hankkeen aikana tarkasteltuja kohteita ja alustavia tuloksia energiansäästöpotentiaalista.

RAKENNUSTEN ENERGIATEHOKKUUDEN PARANTAMINEN

Rakennusten energiatehokkuuden parantaminen perustuu LVISA-järjestelmien säätötapamuutoksiin ja investointeihin. Säätötoimenpiteillä voidaan vaikuttaa lämmityksen, ilmanvaihdon ja lämpimän veden energiankulutukseen. Lämmityksen energiankulutus muodostuu lämmöntuotannosta, -siirrosta ja loppukäytön tehokkuudesta. Ilmanvaihdon osalta energiankulutus muodostuu ilmavirtojen suuruudesta, jälkilämmityspatterin tuottamasta tuloilman lämpötilaerosta ja ilmanvaihtokoneen käyntiajasta. Veden osalta energiankulutus muodostuu lämpimän veden määrästä. Näiden tietojen perusteella voidaan tehdä muutoksia energiankulutuksen pienentämiseen ja samalla saavutetaan kustannussäästöjä (Motiva s.a.). Kuvassa 1 on esitetty periaate rakennuksen lämpöenergiataseesta.



KUVA 1. Esimerkki rakennuksen lämmityksen energiataseesta (kuva Hannu Sarvelainen).

Rakennusten käyttötarkoitus voi muuttua rakennuksen elinkaaren aikana. Vajaakäyttöisellä rakennuksella tarkoitetaan rakennusta, jonka käyttöaste on pienentynyt tai loppunut kokonaan muutosten vaikutuksesta. Ensisijaisesti rakennukselle tulisi löytää uusi käyttötarkoitus. Tässä tapauksessa rakennuksen energiankäytön on vastattava käyttöastetta. Energiankulutusta voidaan vähentää esimerkiksi pienentämällä sisäilman lämpötilaa ja muuttamalla ilmanvaihtokoneiden toiminta-arvoja.

Sisälämpötilaa laskiessa on huomioitava sisäilman suhteellinen kosteus. Liian korkea suhteellinen kosteus voi aiheuttaa kosteuden tiivistymistä pinnoille ja rakenteisiin, jolloin kosteusolot edesauttavat homesientien kasvua (Sisäilmayhdistys 2018). Sisäilman kosteutta on tarkasteltava rakennuskohtaisesti, jolloin määritetään rakennuksen ilmankosteusolot tietyssä lämpötilassa.

Ilmanvaihtokoneen energiankulutukseen vaikuttavat ilmavirta, tuloilman lämpötila, käyntiaika ja lämmöntalteenotto. Ilmanvaihtokoneen käyntiaikoja voidaan vähentää jaksottaiseksi, kun huomioidaan rakennuksessa riittävä keskimääräisen ilmanvaihdon toteutuminen (Sisäilmayhdistys 2019).

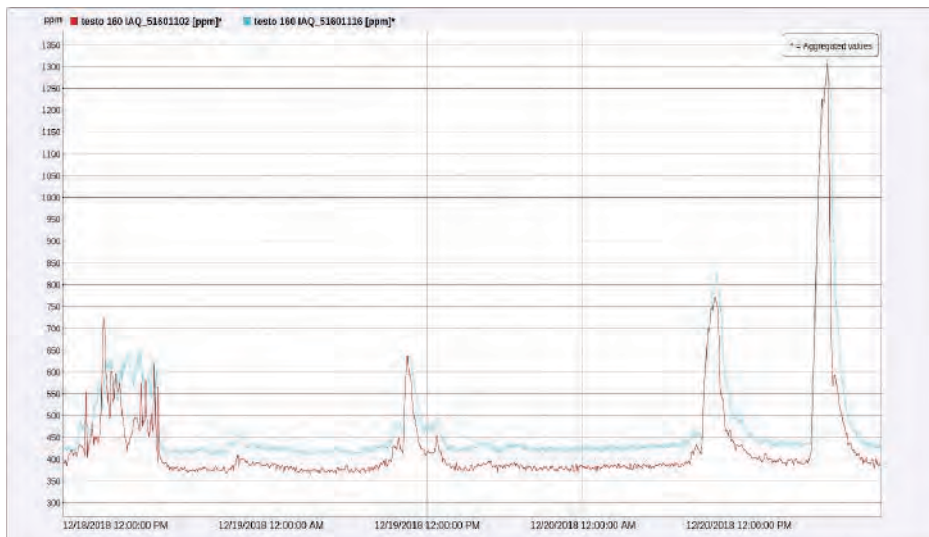
TARPEEN MUKAINEN ENERGIANKÄYTTÖ TARKASTELUKOHTEISSA

Kymenlaakson alueen rakennuksissa on toteutettu tarkasteluja tarpeen mukaiseen energiankäyttöön liittyen. Selvitysaiheita oli kaksi, joista ensimmäinen oli vajaakäyttöisten kiinteistöjen energiankäytön optimointi ja toinen aktiivisessa käytössä olevien kiinteistöjen ilmanvaihdon optimointi CO₂-pitoisuuden mukaan. Molemmista selvitysaiheista tarkasteltiin kolmea rakennusta Kymenlaaksossa Kotkan ja Michikkälän alueella lämmityskauden 2018–2019 aikana. Tarkastelut sisälsivät käytännön mittauksia kohdekiinteistöissä, ja niiden pohjalta laskettiin muutostoimenpiteiden vaikutuksena saatava energiansäästöpotentiaali.

Ensimmäinen selvitysaihe oli vajaakäyttöisten kiinteistöjen energiankäytön optimointi. Lähtötilanteen määrittämiseksi ja energiansäästötoimenpiteiden laskentaa varten suoritettiin käytännön mittauksia tarkastelukohteessa. Mittaukset sisälsivät huonetilojen lämpötila- ja kosteuspitoisuuden määrittämisen ja ilmanvaihtokoneiden lämpötilojen, tilavuusvirtojen ja sähkön kulutuksen määrittämisen.

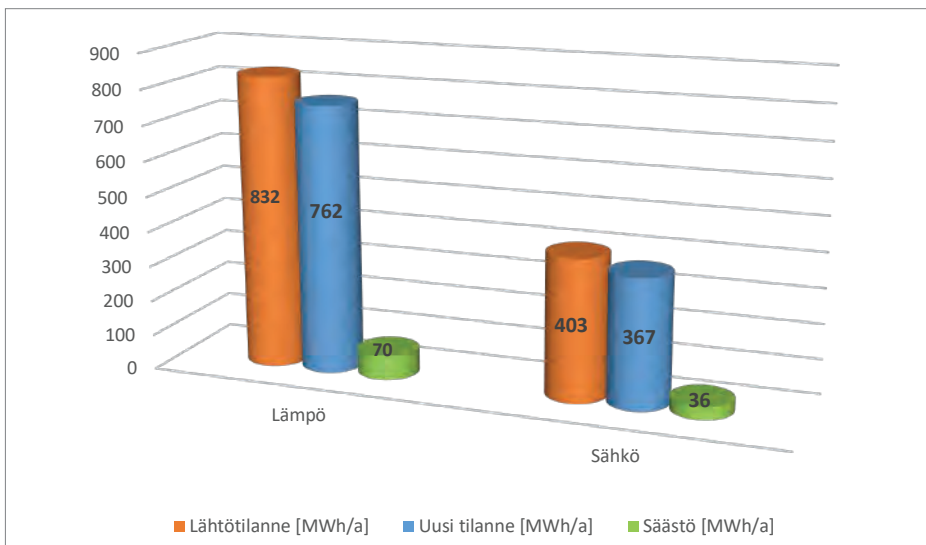
Tarkasteluiden pohjalta sisälämpötilaa voidaan laskea siten, että saavutetaan lämmityskaudella sisäilman suhteellisen kosteuden tavoiteltava taso 30–40 prosenttia. Esimerkiksi yhden tarkastelukohteen säästöpotentiaali sisälämpötilan laskun osalta on noin 30 prosenttia lämmitykseen kuluvasta vuotuisesta lämpöenergiankulutuksesta. Samalla saavutetaan säästöä ilmanvaihtokoneen jälkilämmityspatterin energiankulutuksessa alentamalla tuloilman lämpötilaa. Myös ilmavirtaa voidaan muuttaa vastaamaan käyttöajan ulkopuolista vähimmäisilmavirran tarvetta.

Toinen selvitysaihe oli ilmanvaihdon ohjaus hiilidioksidipitoisuuden mukaan. Tarkastelukohteena oli koulun liikuntasalin ilmanvaihtokone. Käytännön mittauksina koulussa suoritettiin CO₂-pitoisuuden mittaus. Kuvassa 2 on esitetty liikuntasalin CO₂-pitoisuus [ppm] aikaväliltä 18.12.2018 8:00–20.12.2018 23:00. Koulun liikuntasalin käyttö ja harjoitusmuodot vaihtelevat, joten tarpeen mukainen, hiilidioksidipitoisuuden mittaukseen perustuva ilmanvaihto sopisi liikuntasalin ilmanvaihdon ohjaukseen hyvin.



KUVA 2. Liikuntasalin CO₂-pitoisuus [ppm] aikaväliltä 18.12.2018 8:00 – 20.12.2018 23:00.

Lisäksi mitattiin ilmanvaihdon tulo- ja poistokoneiden sähköenergian kulutusta, ilmavirtoja ja lämpötiloja. Tarkasteluiden pohjalta tarpeen mukaisella ilmanvaihdon ohjauksella voidaan esimerkkitapauksessa saavuttaa säästöä nykyiseen verrattuna lämpöenergiassa 70 MWh/a (8 %) ja sähköenergiassa 36 MWh/a (9 %), kuva 3.



KUVA 3. Koulurakennuksen liikuntasalin tarpeen mukaisen ilmanvaihdon ohjauksen säästöpotentiaali verrattuna koko koulurakennuksen vuoden 2018 kulutukseen.

YHTEENVETO

Selvityksen tavoitteena oli optimoida vajaakäyttöisten rakennusten energiatehokkuutta ja parantaa aktiivisesti käytössä olevien rakennusten ilmanvaihdon energiatehokkuutta. Teoreettinen osa kattaa ilmanvaihdon ja lämmityksen periaatteet. Käytännön osa kattaa eri mittaukset. Sisäilmantutkimus sisältää hiilidioksidipitoisuuden, lämpötilan ja kosteuspitoisuuden mittaukset.

Selvityksen perusteella on havaittu, että useissa aktiivi- ja vajaakäyttöisissä rakennuksissa on potentiaalia energiankäytön optimointiin. Tarpeen mukaisen ilmanvaihdon ja sisälämpötilan osalta on mahdollista pienentää rakennuksen energiankulutusta. Suomessa on määritetty rakentamismääräyskokoelman asetuksissa ja sisäilmasuosituksissa vähimmäisvaatimukset sisäilmastolle, joihin tässä selvityksessä on teoreettisesti vedottu.

Menetelminä on käytetty lämmityskaudella tehtyjä mittauksia. Työssä tarkasteltiin lämmityksen ja ilmanvaihdon periaatteita. Tämän pohjalta käytännön tarkasteluiden tuloksena voidaan saavuttaa energiankäytössä 8 prosentin vuotuiset säästöt vuoden 2018 kulutukseen verrattuna. Tulokset antavat suuntaviivoja energian optimaalisesta käytöstä, jota yritykset ja kunnat voivat hyödyntää kansallisesti energiansäästön ja terveyden edistämiseksi.

LÄHTEET

Direktiivi 30.5.2018/844/EU Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi rakennusten energiatehokkuudesta.

Huuhka, S. 2016. Building 'Post-Growth' Quantifying and Characterizing Resources in the Building Stock. Tampereen teknillinen yliopisto, julkaisu 1414. PDF-dokumentti. Saatavissa: <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-15-3817-9> [viitattu 3.9.2019]

Kephalopoulos ym. 2017. Promoting healthy and energy efficient buildings in the European Union. Joint Research Center raportti 27665 2017. PDF-dokumentti. Saatavissa: https://www.rehva.eu/fileadmin/content/documents/Promoting_healthy_and_highly_energy_performing_buildings_in_European_Union.pdf [viitattu 21.8.2019]

Lampinen, M. 2010. Kostean ilman termodynamiikka, tilapiirroksot ja reaaliaikaiset. Sovelletun termodynamiikan laboratorio, no. 154. Espoo: Teknillinen korkeakoulu.

Linkoranta, T. 2018. Rakennusten uusiokäyttö on kestävä kehitystä. Turun sanomat. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.ts.fi/mielipiteet/aliot/3960292/Rakennusten+uusiokaytto+on+kestavaa+kehitysta> [viitattu 17.9.2019]

Motiva s.a. Energiatehokas lämmitys- ja lämmöntalteenottojärjestelmä. PDF-dokumentti. Saatavissa: https://www.motiva.fi/files/7812/Energiatehokas_Lammitys_LTO_KOULU-TUSAINESTO.pdf [viitattu 20.8.2019]

Seppänen, O. 1996. Ilmastointitekniiikka ja sisäilmasto. Anjalankoski: Solver.

Sisäilmayhdistys. 2018. Fysikaaliset tekijät. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.sisailmayhdistys.fi/Terveelliset-tilat/Sisailmasto/Fysikaaliset-tekijat> [viitattu 17.9.2019]

Sisäilmayhdistys. 2019. Hyvä sisäilma -suositus. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://www.sisailmayhdistys.fi/Julkaisut/Hyva-sisailma-suositukset> [viitattu 17.9.2019]

Syke. 2018. Rakennusten lämmitys kuluttaa runsaasti energiaa. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://ilmasto-opas.fi/en/ilmastonmuutos/hillinta/-/artikkeli/fi/73fa2827-42d1-4fd7-a757-175aca58b441/rakennusten-lammitys-kuluttaa-runsaasti-energiaa.html%2027.8.2019> [viitattu 27.8.2019]

Tilastokeskus. 2018. Energian loppukäyttö. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://findikaattori.fi/fi/table/26> [viitattu 17.9.2019]

Ympäristöministeriö. 2018. Euroopan unionin ilmastopolitiikka. WWW-dokumentti. Saatavissa: https://www.ymp.fi/fi-FI/Ymparisto/Ilmasto_ja_ilma/Ilmastonmuutoksen_hiljittaminen/Euroopan_unionin_ilmastopolitiikka [viitattu 22.8.2019].

Ympäristöministeriö. 2019. Energiatohokkuus. Terveellisyys. WWW-dokumentti. Saatavissa: https://www.ymp.fi/fi-FI/Maankaytto_ja_rakentaminen/Lainsaadanto_ja_ohjeet/Rakentamismaarayskokoelma/Energiatohokkuus ja https://www.ymp.fi/fi-FI/Maankaytto_ja_rakentaminen/Lainsaadanto_ja_ohjeet/Rakentamismaarayskokoelma/Terveellisyys [viitattu 18.10.2019].

HANKKEESSA TEHDYT SELVITYSTYÖT

Aittakorpi, koulurakennus, Kotka, kevät 2019

Karhuvuori, urheiluhalli, Kotka, kevät 2019

Jylppy entinen koulurakennus, Kotka, syksy 2019

Jylppy entinen pelastuskeskus, Kotka, syksy 2019

Kunnantalo, Miehikkälä, syksy 2019

Salpalinja-museo, Miehikkälä, syksy 2019

BIOLENTOTUHKAN HIENONNUS- KOKEET BIO- JA KIERTO- TALouden TUTKIMUS- KESKUKSESSA BIOSAMMOSSA

Eveliina Kuokkanen & Anne Gango

Bio- ja kiertotalouden tutkimuskeskuksessa BioSammossa Kouvolassa hienonnettiin viideltä energiantuottajalta saatua biolentotuhkaa huhtikuussa 2019. Kokeiden tarkoituksena oli pienentää biolentotuhkan partikkelikokoa Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulun Kotkan kampuksen betonilaboratoriossa opinnäytetyössä toteutettavia betonikokeita varten, joissa tutkittiin sekä käsittelemättömän että käsitellyn biolentotuhkan vaikutusta betonin puristuslujuuteen. Hienonnus toteutettiin vastasuihkujauhintekniikkaan perustuvalla pilot-mittakaavan laitteistolla, jonka operoinnissa oleellista prosessituntemuksen lisäksi oli laitteiston turvallinen käyttö muun muassa suojautumalla tuhkan käsittelystä aiheutuvalta hienojakoiselta pölyltä. Vastasuihkujauhintekniikan lisäksi laitteistossa oli hienonnetun materiaalin luokitus karkeaan ja hienoon jakeeseen. Kyseessä olevien kokeiden tarkoituksena oli tuottaa tasalaatuista materiaalia muuttamatta alkuperäisen biolentotuhkan kemiallista koostumusta, joten hieno ja karkea jae yhdistettiin kokeiden viimeisimpänä vaiheena.

Hienonnuskokeet olivat osa HITU, Biohiilen ja biolentotuhkan mikronisointi ja materiaalisovellukset Kymenlaaksossa -hanketta, jonka päärahoittajana toimii Euroopan aluekehitysrahasto EAKR. Hankkeessa pyritään löytämään ratkaisuja korvaamaan luonnonvarojen käyttöä ja 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

Betoniteollisuudessa sementin valmistus tuottaa huomattavasti CO₂-päästöjä, joiden määrää voisi pienentää korvaamalla osa sementistä muulla, jo olemassa olevalla materiaalilla. Energiantuotannossa muodostuva biolentotuhka voisi olla yksi mahdollinen osatekijä betonissa. Haasteita tuhkan hyödyntämiselle betonissa tuo muun muassa sen heterogeeninen koostumus, jolloin tuhkan tasalaatuistaminen mikronisoimalla voisi edesauttaa tuhkan hyödyntämistä.

HITU, Biohiilen ja -lentotuhkan mikronisointi ja materiaalisovellukset Kymenlaaksossa -hankkeessa hienonnettiin biolentotuhkaa bio- ja kiertotalouden tutkimuskeskus BioSammossa Kouvolan Anjalassa huhtikuussa 2019. Tarkoituksena oli tuottaa hienonnettua biolentotuhkaa opinnäytetyössä tehtäviin betonikokeisiin, joissa vertailtiin muun muassa hienonnuksen vaikutusta betonin puristuslujuuteen. Hienonnettua biolentotuhkaa sisältävän betonin puristuslujuutta verrattiin sekä käsittelemättömään alkuperäiseen biolentotuhkaan että ns. perusbetoniin.

Hienojakoisen materiaalin käsittely mikronisointi- ja luokittelulaitteistossa vaatii huolellista koeajojen suunnittelua. Käsiteltävän materiaalin sisältämien terveysriskien lisäksi tulee huomioida muut prosessista aiheutuvat riskit, joita hienojakoinen pöly voi aiheuttaa. Tällainen on esimerkiksi hiilipitoisen pölyn räjähdysvaara.

MIKRONISOINTI- JA LUOKITTELULAITTEISTON SEKÄ KOEAJOJEN KUVAUS

BioSammossa sijaitseva, koeajoissa käytetty laitteisto on vastasuihkujauhintekniikkaan perustuva, pilot-mittakaavan mikronisointi- ja luokittelulaitteisto (kuva 1). Jauhettava materiaali viedään manuaalisesti laitteiston syöttösuppiloon, josta materiaali syötetään edelleen ruuvikuljettimella vastasuihkujauhimelle. Vastasuihkujauhimessa materiaalin partikkelit törmäävät toisiinsa samalla jauhautuen. Hienonnetut partikkelit ohjautuvat ilmaluokituksessa joko hienotuote- tai karkeatuotesäiliöön työilmamäärän, luokitinpyörän nopeuden ja partikkelin ominaisuuksien perusteella. Laitteistoon syötetty ilma kulkee prosessista letkusuodattimien kautta ulos. Mikronisointi- ja luokittelulaitteistoa on mahdollista käyttää myös ilman vastasuihkujauhinta, jolloin syötetty materiaali ohjautuu syöttösuppilosta ruuvin kautta suoraan luokitukseen.

Mikronisointi- ja luokittelulaitteiston toimilaitteet sekä jauhatus- ja luokitteluprosessit tarvitsevat toimiakseen riittävän määrän työilmaa sopivassa paineessa. Mikäli työilma ei ole prosessille sopiva, ei materiaali jauhaudu tai luokitu toivotulla tavalla. Koeajoihin riittävä työilma ja paineilmantuotto saatiin Kaeserin liikuteltavasta M82-kompressorista.

Biolentotuhkan hienontaminen suoritettiin kolmena päivänä 17.–24.4.2019. Koeajoissa käsiteltiin viideltä eri voimalaitokselta peräisin olevaa biolentotuhkalaatua, joiden kemiallisissa koostumuksissa oli eroja. Esimerkiksi kalsiumpitoisuuden vaihteluväli tuhkalaatujen kesken oli 91 700–269 000 mg/kgk.a., vastaavasti raudan 9 560–47 900 ja rikin 5 040–29 700. Jokainen tuhkalaatu käsiteltiin omana ajonaan, joiden välissä suoritettiin laitteiston puhdistusajo seuraavaksi käsitellyyn tulevalle tuhkalaadulle. Puhdistusajoihin käytettiin noin 10 kg tuhkaa. Betonikokeisiin menevät tuhkat ajettiin ensin vastasuihkujauhimelle, minkä jälkeen hienonnettu tuhka luokitui kahteen tuotesäiliöön. Säiliöiden sisältö yhdistettiin jokaisen tuhkalaadun ajon päätteeksi tasalaatuisen materiaalin saamiseksi. Ajojen tuloksena

saatiin 30–60 kg käsiteltyä tuhkaa jatkotutkimuksia ja betonikokeita varten, ja eri tuhkalaatujen määrät vaihtelivat. Kuvasta 2 voidaan nähdä tuhkan lisäystä mikronisointi- ja luokittelulaitteistoon koeajojen aikana.



KUVA 1. Koeajoissa käytetty pilot-mittakaavan mikronisointi- ja luokittelulaitteiston syöttösuppilo (edessä) sekä hienotuotesäiliö (takana) (kuva Eveliina Kuokkanen).



KUVA 2. BioSammon laitosvastaava Juha Solio pitämässä syöttösuppilon kantta samalla, kun kehitysinsinööri Teemu Karttaavi lisää biolentotuhkaa laitteistoon. Kansi vähentää tuhkan pölyämistä hallitilaan (kuva Eveliina Kuokkanen).

KOEAJOJEN TAVOITE

Koeajojen tarkoituksena oli tuottaa hienonnettua biolentotuhkaa opinnäytetyössä tehtäviin betonikokeisiin, joihin valittiin koeajoissa käsittelyistä viidestä biolentotuhkalaadusta kaksi. Opinnäytetyössä selvitettiin voimalaitoksilta tulleiden käsittelemättömien sekä hienonnettujen biolentotuhkalaatujen vaikutusta betoniin etenkin puristuslujuuden näkökulmasta ja verrattiin saatuja tuloksia betonistandardien mukaisesti valmistettuun betonikoekappaleeseen.

Merkittävänä taustavaikuttajana oli lisäksi CO₂-päästöjen vähentämispotentiaali: biolentotuhkan hyödyntäminen vähentäisi tarvetta sementin käytölle betonissa ja samalla mahdollistaisi pienemmät CO₂-päästöt betoniteollisuudessa. Betonistandardit tosin eivät tällä hetkellä salli yksinomaan biolentotuhkaa sisältävän tuhkan hyödyntämistä rakennebetonissa, mutta alhaisen lujuusvaatimuksen betonisovelluksissa biolentotuhkan hyödyntäminen voi olla mahdollista. Biolentotuhkalle on ominaista heterogeeninen koostumus, johon voidaan ainakin osittain vaikuttaa mikronisoimalla. Mikronisoinnin muita hyötyjä ovat muun muassa lisääntynyt pinta-ala ja reaktiivisuus.

Opinnäytetyön betonimassat, koekappaleet ja mittaukset tehtiin keväällä ja kesällä 2019 Kotkan kampuksen Betonilaboratoriossa. Betonissa käytetyt seossuhteet saatiin hankeyhteistyökumppani Rudukselta. Opinnäytetyön kokeelliseen osuuteen kuului muun muassa biolentotuhkaa eri suhteissa sisältävien betonikappaleiden valmistus, betonin painuman, leviämisen, märkätiheyden, ilmamäärän ja puristuslujuuksien mittaukset. Betonin puristuslujuusmittaukset tehtiin Kymilabsin toimesta akkreditoitulla menetelmällä. Lisäksi osa opinnäytetyön aikana tehdyistä betonikappaleista sijoitettiin kampuksen katolle pidempiaikaiseen säätestaukseen (kuva 3). Tarkemmat tulokset betonikokeista esitetään opinnäytetyössä, joka valmistuu marras-joulukuussa 2019.



KUVA 3. Kotkan kampuksen katolla on säätestauksessa kuusi betonilaattaa, jotka sisältävät biolentotuhkaa (kuva Eveliina Kuokkanen).

KOEAJOJEN TURVALLISUUSNÄKÖKULMIA

Koeajoissa käytetyssä mikronisointi- ja luokittelulaitteistossa voidaan käsitellä tuhkan lisäksi muitakin hienojakoisia materiaaleja. BioSammossa pääosa materiaaleista on tähän mennessä ollut biolentotuhkaa. Valmiiksi hienojakoinen materiaali hienontuu laitteistossa entisestään, mikä aiheuttaa vaatimuksia työn aikana käytettävälle henkilökohtaiselle vaateetukselle ja suojaamille. Jauhautumisen lisäksi helposti pölyävä aine pääsee ilmatilaan esimerkiksi syötön (kuva 2) ja tuotesäiliöiden tyhjentämisen yhteydessä. Hienojakoinen aines ilmassa voi mennä syvälle keuhkoihin, minkä välttämiseksi koeajoissa käytetään henkilökohtaisia moottoroituja raitisilmamaskeja (kuva 2). Hengitysilma johdetaan FFP3-tason suodatinpatruunan kautta maskin sisäosaan. Puhtaan hengitysilman lisäksi tulee huomioida ulos johdettavan ilman sisältämät hiukkaset, ettei laitteiston koeajojen aikana lähiympäristö

likaannu käsiteltävästä materiaalista. Laitteiston viimeisin prosessivaihe on työkaasun kulkeutuminen letkusuodattimien ja purkuputkien kautta ulos, jolloin suurin osa ilman sisältämistä hiukkasista pidättyy suodattimille.

Hienojakoinen aines voi terveysriskin lisäksi aiheuttaa pölyräjähdysvaaran, joka on riippuvainen materiaalin kemiallisesta koostumuksesta. Hienojakoinen pöly ilmassa sopivassa suhteessa voi esimerkiksi kipinän vaikutuksesta räjähtää. Biolentotuhka sisältää pääasiassa vain hyvin pienen määrän hiiltä, joten tuhka-ajoissa pölyräjähdysvaaraa ei ole. Toisin on paljon hiiltä sisältävien materiaalien kohdalla. Esimerkiksi HITU-hankkeen toinen mikronisoitava materiaali biohiili edellyttää inerttiä toimintaympäristöä, jossa räjähdysen mahdollisuus estetään käyttämällä työkaasuna ilman sijaan typpeä. Lisäksi laitteisto on maadoitettu kipinöinnin ja staattisen sähkönmuodostuksen minimoimiseksi.

Paineilman käyttö ja paineistetut muoviputket laitteistossa, painavat materiaali- ja tuotesäiliöt edellyttävät lisäksi kypärän, kulutusta kestävien suojavaatteiden ja turvakenkien käyttöä. HITU-hankkeessa käsiteltävä biolentotuhka on emäksistä pH:n ollessa noin 13, joten suojavaatteiden kestävyuden lisäksi tulee huomioida niiden riittävä peittävyys.

LOPUKSI

Biolentotuhkan mikronisointikoeajoja on jatkettu huhtikuussa tehtyjen koeajojen jälkeen samalla kehittämällä hienonnuksprosessia turvallisemmaksi ja toiminnallisemmaksi. Esimerkiksi käsiteltävän materiaalin pölyämisen minimointi on jokaisessa ajossa tärkeää. Biohiilen hienonnuksessa on tehty alustavia testejä tehosekoittimella. Testeissä käytetyn sekoittimen kanteen on liitetty putki, josta sekoittimen sisään saadaan johdettua typpeä typpipullosta. Isommassa mittakaavassa biohiilen mikronisointi vaatii vielä prosessikehitystä hiilen pölyräjähdysriskin vuoksi.

COMPLETE-HANKKEESSA SELVITETÄÄN LAIVOJEN POHJIEN LIKAANTUMISEN VAIKUTUSTA KULKUVASTUKSEEN

Elias Altarriba

COMPLETE-hanke on Interreg Baltic Sea region -rahoitteinen tutkimushanke, jossa Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu on mukana 11 muun hankepartnerin kanssa. Hankkeessa tutkitaan vieraslajien leviämistä Itämeren alueella. Osana tätä tutkimusta perehdytään myös laivojen pohjien biolikaantumisen vaikutukseen ja niiden aiheuttamaan kulkuvastukseen. Likaantumisen seurauksena polttoaineen kulutus lisääntyy ja päästöt kasvavat. Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulun tehtävä on toteuttaa datan tallentamista ja päästömittauksia Itämerellä liikennöivillä aluksilla. Dataa analysoitaessa tavoitteena on osoittaa, mikä vaikutus pohjien likaantumisella on aluksen kulkuvastukseen. Näin saadaan relevanttia tietoa päätöksenteon tueksi tulevia suojelutoimia suunniteltaessa.

JOHDANTO

Ympäristöä uhkaavat vaarat ovat moninaisia. Ilmaston lämpeneminen hiilidioksidipäästöjen seurauksena, moninaiset myrkkypäästöt, jäteongelmat ja niiden hallitsemiseksi toteutettu ympäristöpolitiikka ovat usein medioiden otsikoissa. Vieraslajien leviämisen aiheuttamat ongelmat eivät ole saaneet vastaavalla tavalla palstatilaa, vaikkakin osa aggressiivisista ja haitallisista vieraslajeista voi aiheuttaa merkittävää haittaa olemassa oleville ekosysteemeille niiden levitessä uusille alueille. Arviot vaikutuksista ovat aina suuntaa antavia, mutta esimerkiksi maa- ja metsätalousministeriön raportissa vuodelta 2011 (Marttila et al. 2011) vieraslajeja pidetään toiseksi suurimpana uhkana luonnon monimuotoisuudelle heti elinympäristöjen tuhoutumisen jälkeen. Tämä arvio on todennäköisesti edelleen paikkaansa pitävä.

Kaikki vieraslajit eivät ole haitallisia, ja lajien leviäminen uusille alueille on sinänsä luonnollinen prosessi. Luonnon omana hallintajärjestelmänä ovat olleet muun muassa pitkät etäisyydet, jotka ovat rajoittaneet tehokkaasti monien lajien leviämistä. Tuolloin ekosysteemeillä on ollut enemmän aikaa sopeutua uuteen tulokkaaseen. Globalisoituvaa maailmaa on kuitenkin pienentänyt matkustusestäisyyksiä paitsi ihmisillä usein myös mukana tahattomasti kulkeutuvilla muilla eliöillä. Yhtenä vieraslajien kulkureittinä ovat laivojen painolastivedet. Erityisesti öljykuljetukset ovat olleet tässä keskeisessä asemassa: Tankkereiden kulkemat

reitit yhdistävät mantereita toisiinsa, ja toiseen suuntaan tankkerit joutuvat usein kulkemaan painolastissa. Osaa vieraslajeista on levitetty myös tarkoituksella, kun esimerkiksi viljelyskasveja on istutettu uusille alueille. Muun muassa perunakin on aikoinaan ollut Suomessa vieraslaji, vaikkakaan ei haitallinen.

Haitalliset vieraslajit aiheuttavat merkittävää haittaa. Nopeasti runsastuvat ja aggressiiviset lajit aiheuttavat kokonaisia sukupuuttoja, muuttavat ravintoketjuja ja elinympäristöä, leviävät taudinaiheuttajia ja tuottavat monenlaista haittaa myös ihmisille. Joskus vaikutukset voivat olla hyvinkin dramaattisia. Esimerkiksi keskiajalla Euroopassa riehuneet ruttoepidemiat liittyivät hyvin läheisesti vieraslajien leviämiseen, kun ensin mustarotat levisivät ympäri maanosan, minkä jälkeen niissä eläneet kirput toimivat siltana ruttobakteerien leviämiselle.

Ruttoesimerkki on ääritapaus. Hitaammin tapahtuvat ja vähemmän vakavat vahingot voivat kuitenkin muodostaa kokonaisuuden, ja lopputulokset voivat silti olla vakavia. Esimerkiksi vieraslajeista johtuvien, välillisten taloudellisten vahinkojen on arvioitu olevan noin 5 prosenttia maailmantaloudesta (Pimentel et al. 1999). Lukua voidaan pitää suurena, kun muistetaan sen epätasainen jakautuminen kärsijöiden kesken: Kärsijänä voi yhtä lailla olla alkutuotannossa toimiva yksittäinen taho kuin urbaani toimija, jonka toiminta hankaloituu merkittävästi haitallisen vieraslajin vuoksi.

Itämeri on monessa mielessä erityinen merialue. Vähäsuolainen vesi, laajat matalahkot merialueet sekä rikkonaiset rannikkoalueet erityisesti Suomessa ja osassa Ruotsia tekevät merialueesta geologisesti erityislaatuisen. Itämeressä elävä lajisto on niukkaa, ja se on joutunut sopeutumaan vähäsuolaiseen murtoveteen. Tästä huolimatta monet lajit ovat muodostaneet runsaslukuisiakin populaatioita (Furman et al. 1998). Vieraslajien leviämisen kannalta Itämeri on uusille tulokkaille edellä mainituista syistä haasteellinen elinympäristö, mutta toisaalta ainutlaatuisena ekosysteeminä myös haavoittuvainen. Osa vieraslajeista onkin kyennyt sopeutumaan uuteen elinympäristöön aiheuttaen monia ei-toivottuja vaikutuksia niin alkuperäiselle merieliöstölle kuin rannikkovaltioiden ihmisillekin. Yksi tällainen lajike on merirokko, joka saapui Itämeren alueelle jo 1840-luvulla. Tämän jälkeen se on tuottanut vahinkoa useammallekin merenkulkijasukupolvelle, sillä se kiinnittyy laivojen pohjiin ja muihin vedenalaisrakenteisiin. Isona eliönä se lisää alusten kulkuvastusta merkittävästi.

Merirokko on kuitenkin vain yksi Itämeren alueella vaikuttava haitallinen vieraslaji. COMPLETE-hankkeen (COMPLETE 2019) yhtenä tavoitteena on tuottaa uutta tutkimustietoa menetelmistä ja keinoista, joilla vieraslajien leviämistä voidaan rajoittaa Itämeren alueella. Hanke toteutetaan vuosina 2017–2020 Interreg Baltic Sea region -rahoitusohjelman turvin. Ammattikorkeakoulusektorilla hanke on suhteellisen poikkeuksellinen, sillä se on monessa mielessä kansainvälinen tiedehanke. Tämä näkyy myös hankepartnereiden kokoonpanossa, ja Suomesta mukana ovat Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulun lisäksi Helsingin yliopisto, Suomen ympäristökeskus ja järjestötoimijana Pidä Saaristo Siistinä

ry. Pääkoordinaattorina on Meriturvallisuuden ja -liikenteen tutkimuskeskus Merikotka. Helsingin komissio HELCOM on hankkeessa myös tiiviisti mukana, ja sen ansiosta tutkimustulosten jalkauttaminen sopimustasolla onnistuu tarpeen vaatiessa tehokkaasti. Ulkomaalaisia partnereita ovat Tarton yliopisto Virossa, Latvian yliopisto, Klaipedan yliopisto Liettuasta, Gdanskin yliopisto Puolasta, Chalmers-yliopisto Ruotsista sekä viranomaistahoa edustava BSH Saksasta. Lisäksi mukana on 23 muuta yhteistyötahoa, kuten laivayhtiöitä, konsultteja ja muita toimijoita.

MITTAUKSET

Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulun tehtävä COMPLETE-hankkeessa on tallentaa dataa aluksilta ja analysoida sitä pohjien likaantumisen todellisten vaikutusten havainnoimiseksi. Hankkeen toteuttamiseen osallistuu Logistiikan ja merenkulun TKI:sta allekirjoittanut, ja päästömittausten toteuttamisessa ovat mukana myös Marko Piispa ja Mikko Nykänen Kymilabsista. Kymilabs on Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulun sertifioitu päästömittauslaboratorio, ja sen vastuuhenkilöillä on lähes 20 vuoden kokemus päästömittausten toteuttamisesta laivoilla. Pääasiassa työtä tehdään kaupallisina suoritteina, kun Itämerellä liikennöivät alukset tarvitsevat sertifioitua päästölaboratorion myöntämän todistuksen vallitsevista päästötasoista saadakseen alennusta väylämaksuista (olettaen, että päästöt ovat riittävän alhaiset oikeutettuun alennukseen). Päästömittauksissa käytetään laitteistoa ja noudatetaan päästökompontenttikohtaisia standardeja, jotka on esitetty taulukossa 1.

TAULUKKO 1. Mitattavat päästökompontentit, mittalaitteistot ja standardit.

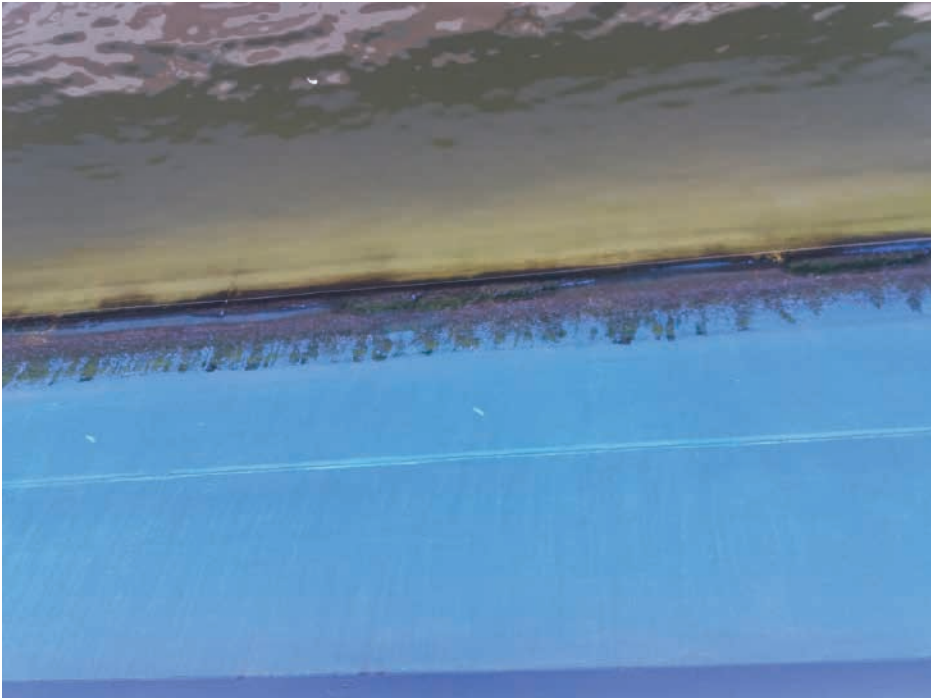
Komponentti	Laitteisto	Menetelmä	Standardi
SO ₂	HORIBA PG350	IR-absorptio	CEN/TS 17021:2017
NO _x	HORIBA PG350	Kemiluminesenssi	SFS-EN 14792
CO	HORIBA PG350	IR-absorptio	SFS-EN 15058
CO ₂	HORIBA PG350	IR-absorptio	ISO 12039
O ₂	HORIBA PG350	Paramagneettiikka	SFS-EN 14789
Virtaama	MIKOR TT570SV	-	-
Lämpötila	FLUKE Thermo	-	-

COMPLETE-hankkeen tiimoilta tehdyt mittaukset on toteutettu vuosina 2018–2019. Päästömittaukset aloitettiin toukokuussa 2018 M/S Finnmaidilla. Alus liikennöi Helsingistä Travemündeen, ja yhdensuuntainen matka kestää noin 30 tuntia. Matka sisältää lukuisia legejä, jolloin alus kulkee syvässä vedessä pääasiassa suoraan, jolloin ohjailusta aiheutuva vastuslisä minimoituu. Samoin matalan veden aiheuttama kulkuvastus lisääntyy. Aluksen reitti kulkee myös suhteellisen läheltä Ruotsin ilmatieteen laitoksen Gotlannin, Öölannin ja Skånen rannikkoalueilla sijaitsevia sääasemia, mikä helpottaa huomattavasti alueella

vaikuttavan säätilan luotettavaa havainnointia. Lisäksi alus operoi jatkuvasti samalla reitillä, jolloin eri ajanjaksoina kerätyt tulokset ovat tässäkin mielessä suhteellisen vertailukelpoisia. Kesäkaudella 2018 tehtiin toinen mittausmatka elokuussa. Tämän lisäksi alukselta saatiin tutkimuskäyttöön tallentunutta kulkudataa heinäkuun 20. päivästä syyskuun 3. päivään. Tallentuneina muuttujina ovat aluksen syväys, trimmi, potkureiden pyörintänopeudet ja nousut, akselitehot, pääkoneparien polttoaineen kulutus ja aluksen nopeus pohjan suhteen. Lisäksi tiedossamme on myös aluksen matkakohtainen DWT. Tuona ajanjaksona laivan pohjaa on puhdistettu kaksi kertaa. AIS-datan on toimittanut HELCOM, ja merialueilla vallitsevat säätiedot on saatu Suomen, Ruotsin ja Viron ilmatieteen laitoksilta. Merialueilla vallitsevat virtausennusteet on tuottanut hankepartnerimme BSH. Referenssidataa on kerätty samana ajanjaksona M/S Finnstar -alukselta, joka on Finnmaidin sisaralus.

Vuonna 2019 mittauksia on tehty useammassa aluksessa. Huhtikuun lopussa päästödattaa mitattiin M/S Serenadelta, toukokuussa M/S Gabriellalta, elokuussa uudestaan M/S Serenadelta ja syyskuussa M/S Finnmaidilta ja M/S Gabriellalta. Päästömittausten lisäksi kulkudataa on tallennettu pidemmiltä aikaväleiltä M/S Finnladylla, M/S Finnstarilta, M/S Finnmaidilta ja M/S Gabriellalta. Datan määrä on moninkertainen verrattuna vuoden 2018 dataan, ja talvella 2019 data analysoidaan. Sää tiedot saadaan edellisen vuoden tapaan rannikkovaltioiden ilmatieteen laitoksilta poikkeuksena M/S Gabriella, jonka sääasemalta saadaan tallentunutta dataa aluksen ympärillä vaikuttavista sääolosuhteista. Tätä kirjoittaessa datan tallentaminen on parin aluksen osalta vielä kesken, mutta se saataneen päätökseen lokakuussa 2019.

Kaikki tutkimuksessa mukana olevat alukset ovat sellaisia, joiden pohjia puhdistetaan kesäkaudella säännöllisesti, tavallisesti noin 2–4 viikon välein. Pohjien puhdistaminen aloitetaan aluksesta riippuen toukokuussa, ja viimeiset puhdistukset tehdään lokakuussa. Osassa aluksia käytetään keskikesällä tiheämpää puhdistusväliä. Puhdistuksen tekevät sukeltajat, kun alus on Helsingin satamassa, ja operaatio kestää tavallisesti muutaman tunnin. Koko pohjaa ei puhdisteta, vaan puhdistus keskittyy lähinnä vesirajan alueeseen ja kylkiin. Syvemmältä puhdistetaan tarpeen mukaan, mutta yleensä yli 2–3 metrin syvyyteen ei ole tarvetta mennä. Kasvuston lisääntyminen on runsainta lämpimissä pintavesissä, jossa myös auringonvalo on tarjolla paljon. Lämpiminä ja aurinkoisina kesinä kasvuston runsaudessa voi olla eroa jopa laivan eri kylkien välillä sen mukaan, kumpi kyljistä on pääsääntöisesti aurinkoa vasten.



KUVA 1. Kasvustoa laivan kyljessä (kuva Elias Altarriba).

TULOKSET JA ANALYYSI

Nykyään yhä useammista tutkimusongelmista voidaan tuottaa massadataa. Tavallista on, että massadataa tallennettaessa sen käyttötarkoitus ei ole useinkaan selvillä, sen tallentaminen tapahtuu enemmän tai vähemmän automaattisesti ja sen analysointi vaatii erikoistyökaluja. COMPLETE-hankkeessa tuotetut mittaukset ja datan tallennus muodostavat tyypillisen massadatakokonaisuuden. Dataa ovat tuottaneet Kymilabsin päästömittalaitteet, laivojen integroidut järjestelmät (tässä tapauksessa L3 Valmarine ja Blueflow), AIS-data ja eri valtioiden ilmatieteen laitosten tuottamat säähavaintotiedot. Laadullisena datana voidaan pitää tietoja puhdistusväleistä, laivojen pohjien pintakäsittelyaineista, muista teknisistä ominaisuuksista sekä päällystön kokemuksista puhdistusten vaikutuksista.

Tässä tapauksessa tutkimusta auttaa merkittävästi massadatan järjestäytyneisyys: Tallenteita tuottavat lähteet tunnetaan ja syntyneistä tallenteista voidaan monissa tapauksissa tehdä myös suoria johtopäätöksiä tallenteiden tarkkuudesta. UTC-aikaleima on tärkeässä asemassa järjestettäessä eri lähteistä tallennettua dataa. On selvää, että mahdollisesti eri ajassa olevat kellot voivat tuottaa jonkin verran epätarkkuutta tuloksiin, mutta toisaalta isojen laivojen kulussa suuria muutoksia ei tapahdu nopeasti. Myös kesän 2018 data-analyyysien kokemusten perusteella mahdolliset epätarkkuudet eivät ole niin suuria, etteikö luotetta-

via johtopäätöksiä voitaisi tehdä. Dataa tuottavat lähteet eivät myöskään välttämättä ole mittaustarkkuudeltaan erityisen hyviä, ja tämä koskee erityisesti laivojen omia antureita. Toisaalta, mikäli epätarkkuus on suhteellisen lineaarista, voidaan pohjan likaantumisesta syntyvät eroavuudet havaita melko luotettavasti.

Massadatan analysointimenetelmät kehittyvät jatkuvasti, ja tietokoneiden laskentatehon kasvaessa yhä suurempia datakokonaisuuksia voidaan hallita ilman supertietokoneita. Bayesiläinen tilastotiede (Pearl 2018) on yksi lähestymistapa suurten datamäärien analysointiin, ja sillä voidaan jäljittää tehokkaasti eri datajoukkojen välisiä kausaatioita, mikä COMPLETE-hankkeen tavoitteita ajatellen on erittäin oleellinen tavoite. Korrelaatio ei välttämättä johda kausaatioon, mutta toisaalta monissa tapauksissa vahva korrelaatio indikoi datajoukkojen välistä kausaliteettia. Korrelaatio on kuitenkin hyvin yksinkertainen lähestymistapa tämänkaltaiseen ongelmaan, jossa muuttujia on paljon. Lisäksi useat muuttujat, kuten sääolosuhteet, ilmenevät tilastollisissa systeemeissä sekoittajina vaikuttaen hyvinkin monissa eri muuttujissa.

Sääolosuhteet ovatkin yksi suurimpia haasteita, jotka dataa analysoitaessa on huomioitava. Sään muutoksilla on moninaisia vaikutuksia aluksen kulkuun, ja lisääntyvä tuulivastus kasvattaa aluksen kulkuvastusta suoraan. Toisaalta tuuli voi myös sortaa alusta kulkusuunnastaan, jolloin tuulen seurauksena myös ohjailuvastus kasvaa. Lisäksi tuuliolosuhteet korkean aluksen yläkansilla ovat usein merkittävästi erilaiset verrattuna merenpinnan tasossa vaikuttaviin tuuliin. Merkittävän aallonkorkeuden kasvaessa aluksen kulkeminen aaltokenrässä vaatii lisää energiaa, ja säätilalla on merkittävä vaikutus myös Itämerellä vallitseviin virtauksiin vuorovesi-ilmion puuttuessa.

Pohjan likaantumisen aiheuttamat muutokset kulkuvastukseen ovat kuitenkin kumulatiivisia, jolloin se on muuttujana eriluonteinen verrattuna vaikkapa sääolosuhteiden muutoksiin, jotka voivat tapahtua suhteellisen nopeastikin. Tämän tutkimuksen kannalta tämä helpottaa työtä merkittävästi, sillä erityisesti Bayes-verkkoteknologiaa hyödyntämällä tällainen muutos on jäljitettävissä. Asiaa helpottaa myös laivojen pohjien puhdistaminen säännöllisesti ja näiden puhdistusajankohtien täsmällinen tunteminen, jolloin tuotetut muutokset tähän kumulatiivisesti kehittyvään vastuskomponenttiin tunnetaan.

JOHTOPÄÄTÖKSET

COMPLETE-hankkeen Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulun vastuualueen työstäminen on erinomainen esimerkki hankkeesta, jossa Metsä, ympäristö ja energia -vahvuusalaan kuuluvan Kymilabsin päästömittauslaboratorio ja Logistiikan ja merenkulun vahvuusalaan kuuluva Merenkulun TKI tekevät ansiokasta yhteistyötä. Lisäksi COMPLETE on esimerkki myös ammattikorkeakoulun TKI-toiminnan joustavuudesta, sillä oppilaitos voi olla mukana kansainvälisessä tiedehankkeessa tehden kuitenkin samaan aikaan hyvin käytännönläheistä

tutkimustyötä hankkeen tavoitteiden saavuttamiseksi. Ammattikorkeakoulun päästömittauslaboratorion hyödyntäminen hanketyössä on järkevää, sillä tähän toimintaan hyväksytyjä, akkreditoituja laboratorioita on Suomessa vain vähän. Lisäksi Kymilabsin pitkän linjan yhteistyö varustamojen kanssa on luonut luottamuksellisia suhteita, joista on suoraa etua myös hanketoiminnan kannalta. On tärkeää muistaa, että loppuen lopuksi ihmiset (eivätkä organisaatiot) tekevät kaikki projektit. COMPLETE-hanke jatkuu syyskuuhun 2020. Siihen mennessä mittausten ja datan analysoinnin on valmistuttava, jolloin tulokset ovat julkaistavissa tiedeyhteisölle ja sidosryhmille.

LÄHTEET

Completing management options in the Baltic Sea region to reduce risk of invasive species introduction by shipping “COMPLETE”. Verkkosivusto [viitattu 10.10.2019] balticcomplete.com.

Furman, U., Dahlström, H., Hamari, R., 1998. Itämeri – luonto ja ihminen. Otava.

Marttila, V., Niemivuo-Lahti, J., Kaipainen, J., (editorit), 2011. Ehdotus kansalliseksi vieraslajistrategiaksi. Maa- ja metsätalousministeriön julkaisuja.

Naylor, R.L., Williams, S.L., Strong, D.R., 2001. Aquaculture - a gateway for exotic species. Science 294, pp. 1655–56.

Pearl, J., 2018. Miksi: Syyn ja seurauksen uusi tiede. Terra Cognita.

Pimentel, D., Lach, L., Zuniga, R., Morrison, D., 1999. Environmental and economic costs associated with non-indigenous species in the United States. College of agriculture and life sciences, Cornell University.

BIOPILOTIT – TUTKIMUSINFRA- STRUKTUURIN VAHVISTAMISTA KYMENLAAKSOSSA

Sirpa Rahiala & Kirsi Tallinen & Juha Solio

Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoululle (Xamk) Kymenlaaksoon kehitetään monipuolista tutkimusyksikköä biokierrotalouden edistämiseksi. Erityisesti BioSammon ja sen laitekannan uudistaminen mahdollistavat monipuolisten pilotointien ja mittausten tekemistä sekä toiminnan laajentumista. BioSammossa on tehty puuaineksen pyrolysointia jo vuosia, ja nyt BioPILOTIT-hankkeessa suunniteltiin jatkuvatoiminen hitaan pyrolyysin prosessi, joka mahdollistaa muun muassa sahanpurun ja muun hienojakoisen puuaineksen käsittelemisen ja käytön muuhunkin kuin polttoaineeksi. Hankkeessa kartoitettiin myös vaihtoehtoja ja valittiin laitteistotyyppi (kattilaratkaisu) energiatekniikan tutkimusta varten ja selvitettiin laitteistohankintojen kustannusarvioita. Kaasumaisten komponenttien mittaukseen Xamkille hankittiin FTIR-monikaasuanalysointilaitteisto ja tätä uutta mittausteknologiaa pilotoitiin tässä hankkeessa. Hanke toteutettiin Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulun (Xamk) Metsä, ympäristö ja energia -vahvuusalan Kymenlaakson yksikössä. Hankkeen päärahoitus saatiin Kymenlaakson liitolta Euroopan aluekehitysrahastosta (EAKR).

JOHDANTO

Kehitystyön ja investointien lähtökohtana oli Xamkin Kymenlaakson yksiköiden kehittäminen vastaamaan alueellista kehitystarvetta bio- ja kierrotalouden pilotointiympäristöille. Tällä hetkellä alueella ei juurikaan ole julkisten toimijoiden tutkimusinfrastruktuuria, mutta hankkeen tukemana toimintaympäristöä saatiin vahvistettua sekä uudella mittauslaitteella että pilotointilaitteen suunnittelulla.

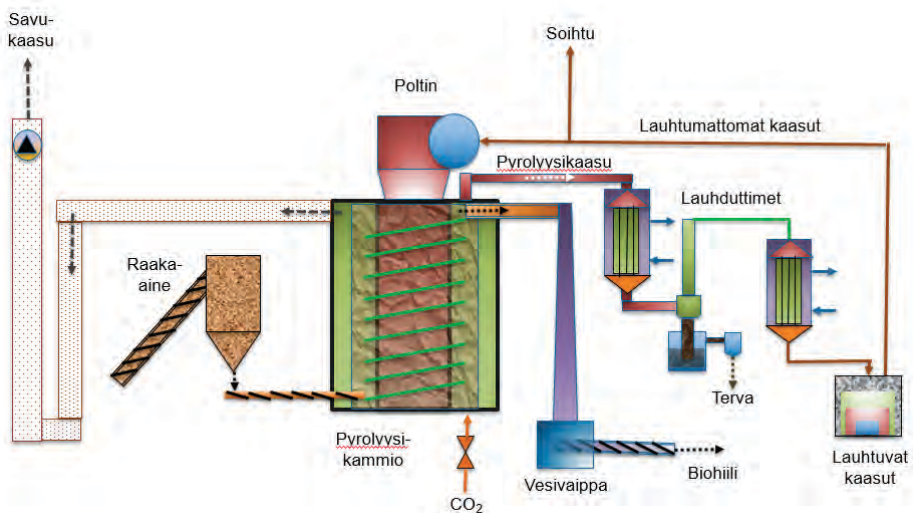
PILOTOINTILAITTEELLE TEKNINEN SUUNNITELMA

BioSammon toimintaympäristöä haluttiin kehittää sivuvirtojen hyödyntämisessä käytettyjen prosessien pilotointimahdollisuuksien osalta. Erityisesti haluttiin käyttää sivuvirtana hienojakoisten puumateriaalien biomassaa. Hitaassa pyrolyysissä biomassasta saadaan tuotteena hiiltä ja haihtuvia aineita kuumentamalla sitä (tyypillisesti 300–700 °C:n lämpötilaan) hapettomassa tai vähähappisessa tilassa.

Torrefioinnista (toimintalämpötila alle 400 °C) on saatu kokemuksia jo aikaisempien hankkeiden aikana ja aiheeseen liittyvää kehitystyötä on nyt myös tehty useamman hankkeen aikana rinnakkain. BioPILOTIT-hankkeen lisäksi muun muassa kirjallisuustarkastelua ja teknisiä ratkaisuja on tutkittu Kymenlaakson biotaloustoimintaympäristön kehittäminen (KYMBIO) -hankkeessa (EAKR) sekä hiilen jatkojalostusta Bioproduct and clean technology - RDI FlagShip in Xamk -hankkeessa (OKM). Hyvän pohjatyon ansiosta laitteelle oli osin valmiit toiminta-arvot.

Pyrolyysiprosessin käyttöön on noussut kiinnostusta erilaisista yritystarpeista. Hiilen valmistus puuaineksesta on päällimmäinen kohdealue, mutta myös uutetun puuaineksen jatkokäsittely on kiinnostanut lääkeaineita valmistavaa teollisuutta.

Prosessilaitteen tekniseen tasoon on kiinnitetty erityistä huomiota. Laitoksen toiminnan tarkan seuraamisen on oltava mahdollista, ja muun muassa prosessin eri vaiheiden lämpötilojen vaikutus lopputuotteeseen tulee tietää. Nämä on otettu suunnittelussa huomioon, joten tärkeänä asiana on laitoksen prosessin ohjauksen tarkkuus ja prosessin toistettavuus. BioPILOTIT-hankkeen aikana hitaan pyrolyysin prosessin pilottilaitteelle toteutettiin tarkempi määrittely, johon kuuluivat muun muassa lämpöhäviö- ja virtauslaskentaa, pyrolyysiretortin mitoitus ja sen 3D-mallinnuksen tekeminen, jäähdyttimien sekä prosessikaavion ja laitekokonaisuuden suunnittelut. Määritysten perusteella pystyttiin laatimaan tarjouspyyntö yrityksille teknistä suunnittelua ja piirustuksia varten, jolloin näiden tulosten perusteella voidaan arvioida rakennuskustannuksia ja tulevaisuudessa rahoituksen varmistuttua toteuttaa suunnitelman mukainen prosessilaitos. Kuvassa 1 esitetään kehitteillä olleen hienojakoisen puuaineksen pyrolyysin prosessikuvaus.



KUVA 1. Hitaan pyrolyysin prosessilaitte, prosessikaavio ja apulaitteet (kuva Maunu Kuosa 2018).

TOIMINTAYMPÄRISTÖN VAHVISTAMINEN KAASUTUKSEN JA KAASUN MITTAUKSEN OSALTA

Hankkeen yhtenä tavoitteena oli kasvattaa energiatekniikan valmiuksia pilotointitoimintaa varten ja erityisesti mahdollistaa tulevaisuudessa testimittaukset bio- ja kiertotalouspolttoaineilla. Biomassaa voidaan muuntaa lämmöksi, sähköksi ja/tai polttoaineeksi joko polttamalla, kaasuttamalla tai pyrolyysiprosessilla. Energiantuotantovaihtoehtoja vertailtaessa otettiin huomioon muun muassa testilaitteiston kokoluokka, mahdollisuus monipuoliseen polttoainevalikoimaan ja investointikustannukset.

Myös muita näkökulmia otettiin huomioon eri vaihtoehtoja vertailtaessa, kuten uutuusarvo tutkimuksessa sekä käytettävyys, muun muassa laitteiston soveltuminen osaksi muuta Kymenlaakson tutkimusinfrastruktuuria. Kymenlaaksoon ollaan toteuttamassa öljyntorjunnan tutkimuskeskusta, jossa syntyvän jätteen polttaminen ja siihen sopiva polttomenetelmä oli yksi taustatekijä vaihtoehtoja selvitettyä. Myös laitteiston toteuttamista yhteistyössä paikallisten toimijoiden kanssa harkittiin, mutta kokoluokan todettiin olevan tällöin liian suuri omiin tarpeisiin. Yhtenä näkökulmana pohdittiin Kotkan tulevan kampuksen energiantuotantoa, mutta muun muassa tilantarpeen toteuttaminen todettiin helpommaksi erillisyyksikössä (BioSamossa).

Taustatekijät huomioiden päädyttiin vertailemaan vaihtoehtoja, jotka sopisivat parhaiten BioSammon toimintakonseptiin. BioSammon toiminta painottuu entistä selvemmin bio- ja kiertotalouteen, ja nykyisessä toimintasuunnassa painottuvat hidaspYROLYYSIPROSESSIN hyödyntäminen ja tuhkan/hiilen hienontaminen ja erottelu. Vaihtoehtoista kaasutuksen todettiin tukevan parhaiten BioSammon toimintaa, jossa tuotteiden jalostusarvoa halutaan nostaa pelkän polttamisen sijaan. Kaasutuksessa syntyneen tuotekaasun jatkojalostus muiksi tuotteiksi on mahdollista (”arvottomasta” biomassasta saadaan arvokkaita kemikaaleja, kuten etikkahappoja, tervoja ja bioöljyjä), ja vaihtoehtoisesti kaasu voidaan hyödyntää sähkön ja lämmön tuotannossa.

Kaasutuksessa syntyneen biotuhkan tutkiminen Erotustekniikan tutkimuskeskuksen laitteistolla luo myös uusia mielenkiintoisia tutkimuskohteita. Esimerkiksi Kilpimaa ym. (2011, 86) ovat todenneet, että ”kaasutus- ja polttoprosesseissa muodostuvien tuhkien ominaisuudet vaihtelevat paljon, ja niiden hyötykäyttösovellukset ovat sen vuoksi erilaisia”. Myös biomassan esikäsitteily joko jauhamalla tai torrefioimalla on myös ollut tutkimuksen kohteena (Marklund & Öhrman 2011, 23–25), ja siten BioSampo olisi ympäristönä soveltuva myös näiden toimintojen yhdistämiseen.

Kaasutusteknologian valintaan löytyikin useita perusteluja:

- Synnergia muiden tutkimuskohteiden kanssa BioSamossa.
- Bioenergian hyödyntäminen tehokkaasti, tehokkaampaa hyödyntämistä kuin polttaminen.

- Kaasun monipuoliset hyödyntämismahdollisuudet, kuten moottorisovellukset, katala ja kaasun muuntaminen muiksi hyödynnettäviksi tuotteiksi.

Kaasutukseen löytyy useita erilaisia vaihtoehtoja (kiinteä peti (myötävirta, vastavirta, ristivirta), leijupeti (kupliva tai kiertoleiju)), mutta alle 1 MW:n kokoluokassa myötävirtakaasutin on soveltuvin vaihtoehto (Basu 2013, 251). Myötävirtakaasutin soveltuu sekä termisiin että moottorisovelluksiin, sillä terva- ja hiukkaspitoisuus ovat hyväksyttävissä rajoissa, ja kaasutimen etuna on myös helppo valmistus ja käyttö (Susastriawan ym. 2017). Teknologian puutteena voidaan pitää polttoainevaatimuksia (tasainen koko ja sopiva kosteuspitoisuus), ja teknologian kehittämiskohteina ovat esimerkiksi polttoaineen ja ilmansyöttö ja kaasun uudelleenkierrätysjärjestelmät (Susastriawan ym. 2017). Todettiin, että olemassa olevista vaihtoehdoista löytyy sopivia ratkaisuja, eikä kokonaan uuden ratkaisun suunnittelemiseen ole tarvetta. Laitteistovaihtoehdoista budjettitarjoukset päädyttiin pyytämään kokoluokassa 300 kW. Hankkeen aikana tehtiin myös vierailuja suomalaisten bioenergia-alan tuotanto-/suunnittelulaitoksiin, joista saatiin kerrytettyä näkökulmia hankintaa varten. Investointi on suunniteltu toteutettavaksi vuonna 2020.

Hankkeen avulla saatiin kehitettyä myös kaasumaisten komponenttien mittaustekniikkaa FTIR-monikaasuanalysointilaitteilla tehtyjen pilotointien kautta Kymenlaaksossa, jossa on yli 20 vuoden kokemus alalta. KymiLabs on muun muassa päästömittauksiin erikoistunut FINAS-akkreditointipalvelun akkreditoima testauslaboratorio T197 / SFS-EN ISO/IEC 17025, ja akkreditoituun pätevyysalueeseen sisältyvä toiminta ja toimipaikat ovat nähtävissä verkkosivuilta www.finas.fi. FTIR-laitetta päästiin testaamaan käytössä useissa eri mittauskohteissa, esimerkiksi jätteenpolttolaitoksessa, laivamittauksessa ja kpa-kattilassa, sekä vertailemaan nykyiseen mittaustekniikkaan. FTIR-tekniikka ei ole aiemmin ollut standardoitua teknologiaa, mutta keväällä 2019 valmistui kansainvälinen tekninen spesifikaatio (FprCEN/TS 17337:2018), joka voi myös helpottaa tekniikan saamista akkreditoinnin piiriin. Tulevaisuudessa analysointilaitteita voi myös olla tukemassa BioSammon tutkimustoimintaa, ja sillä voidaan mitata esimerkiksi pyrolyysilaitteen tuotekaasun kaasupitoisuuksia ja kaasunlaatua. Kuvassa 2 on esitetty FTIR-mittalaite tyypillisessä mittauskohteessa.



KUVA 2. FTIR-mittalaite mittauskohteessa (kuva Mikko Nykänen).

LOPUKSI

BioSampoa kehitetään edelleen tutkimus- ja pilotointitoiminnan toimintaympäristönä. Tämä edellyttää laitekannan uusimista ja johdonmukaista kehittämistä, mikä on jo aloitetukin. Pyrolyysiprosessin kehittämisen ja kaasutusteknologioiden yhdistämisellä saavutetaan puhtaampia ja energiatehokkaampia energianmuuntoprosesseja, joiden todentamiseen panostetaan lähitulevaisuudessa tehtävien omien investointien ja muiden (hanke)kehittämistoimien avulla.

LÄHTEET

Basu, P. 2013. Biomass Gasification, Pyrolysis and Torrefaction: Practical Design and Theory. Elsevier Science & Technology. Saatavissa: <https://kaakkuri.finna.fi/> [viitattu 9.1.2019].

FprCEN/TS 17337. 2018. Stationary source emissions - Determination of mass concentration of multiple gaseous species - Fourier transform infrared spectroscopy.

Kilpimaa, S., Kuokkanen, T. & Lassi, U. 2011. Kemiallisten menetelmien käyttö biotuhkien hyödyntämiseksi. Teoksessa Lassi, U. & Wikman, B. (toim.) Biomassan kaasutus sähköksi, lämmöksi ja biopolttoaineiksi, HighBio-projektijulkaisu. Kokkola: Jyväskylän yliopisto, Kokkolan yliopistokeskus Chydenius, 81–87.

Marklund, M. & Öhrman, O. 2011. ETC- HighBio saavutukset. Teoksessa Lassi, U. & Wikman, B. (toim.) Biomassan kaasutus sähköksi, lämmöksi ja biopolttoaineiksi, HighBio-projektijulkaisu. Kokkola: Jyväskylän yliopisto, Kokkolan yliopistokeskus Chydenius, 19–30.

Susastriawan, A.A.P., Saptoadi, H. & Purnomo. 2017. Small-scale downdraft gasifiers for biomass gasification: A review. Renewable and Sustainable Energy Reviews 76, 989–1003.

SAVUKAASULAUHTEEN LAATU HOVISAAREN VOIMALAITOKSEN (KOTKAN ENERGIA OY) UUDELLA VESILAITOKSELLE

Henri Kärkkäinen & Markku Siltanen & Pauli Linna & Alekski Kuitunen & Juho Rajala

Tutkimuksessa selvitettiin Kotkassa Hovinsaarella sijaitsevan biovoimalaitoksen uudella vesilaitoksella puhdistetun savukaasulauhteen laatua. Uuden vuonna 2019 käyttöönotetun laitoksen puhdistaman lauhteen laatua verrattiin vanhan laitoksen vastaavaan. Ympäristöluvan asettamia ehtoja verrattiin lauhteesta mitattuihin arvoihin. Tutkimus toteutettiin yhteistyössä Kotkan Energia Oy:n kanssa uuden laitteiston käyttöönoton yhteydessä heinä–elokuussa 2019.

Tutkimuksen tavoitteena oli selvittää, onko uuden puhdistamon käyttöönotto onnistunut ja vastaako lauhteen laatu ympäristöluvan ehtoja. Lisäksi tarkasteltiin tehtaan oman näytteenoton ja analyysien luotettavuutta.

JOHDANTO

Kotkan Energia Oy investoi vuonna 2018 uuteen vesilaitokseen, jonka yksi tehtävä on puhdistaa savukaasujen puhdistukseen käytettävää vettä. Investoinnin lähtökohta oli vanhan vesilaitoksen ikääntyminen, eikä se vastannut puhdistusteholtaan ympäristöluvan vaatimuksia. Laitteisto ja rakennus otettiin käyttöön heinäkuussa 2019.

Työryhmä toteutti tutkimushankkeen osana ”Työelämälähtöinen projektityö” -kurssia, ohjaajanaan lehtori Juho Rajala. Projekti toteutettiin neljän opiskelijan työryhmällä, johon kuuluivat Henri Kärkkäinen, Pauli Linna, Markku Siltanen ja Alekski Kuitunen. Työryhmä vieraili laitoksella kahdesti ja sai kattavan tietopaketin prosessin vaiheista ja sen toiminnasta laitoksen käyttöinsinööri Jarmo Ritolta sekä projekti-insinööri Teemu Fransakselta. Henri Kärkkäinen toimii laitoksella polttoainevastaanotossa ja toteutti näytteiden analysoinnin. Tulosten oikeellisuuden varmentamiseksi näytteiden kiintoaineen määrää analysoi myös FTF Fuel Testing Finland Oy:n (FTF) Helena Yrjölä, ja SGS:n laboratorio tuotti raskasmetallien analyysitulokset kuukauden aikana koostetuista kokoomanäytteistä.

Työryhmän jäsenet tekivät selvitystä uuden ja vanhan laitoksen savukaasulauhteen puhdistusprosessien eroavaisuuksista ja selvittivät siihen liittyvän ympäristöluvan ehtoja. Työryhmän tavoitteena oli tuottaa mittausdataan perustuva vastaus siitä, täyttääkö uudella vesilaitoksella puhdistettu savukaasulauhde ympäristöluvan ehdot.

SAVUKAASULAHTEN PUHDISTUS

Savukaasut ovat palamisprosessin tuotteita, joiden koostumus vaihtelee poltettavan raaka-aineen laadusta. ”Tyypillisesti savukaasuista erottuvat epäpuhtaudet ovat rikkidioksidi (SO₂), vetykloridi (HCl), hiukkaset ja raskasmetallit” (Pöyry 2016, 2). Savukaasulauhteen puhdistamiseen jatkokäyttöä varten käytetään eri menetelmien yhdistelmää ja tekniikkaa parhaan lopputuloksen saavuttamiseksi (BAT) eli puhdistuksessa käytetään mekaanista, kemiallista sekä kalvosuodatustekniikkaa. Prosessin tavoitteena on puhdistaa poistuva vesi käytettäväksi uudelleen kattilavetenä tai johdettavaksi puhdistettuna takaisin vesistöön.

Kotkan Energian vanhan ja uuden savukaasulaitteiston toimintaperiaate on pääpiirteissään samanlainen, joten uusi laitos tuo päivitettyä tekniikkaa ja toimintavarmuutta laitokselle. Toisaalta uusi laitos on mitoitettu tämän päivän savukaasulauhteiden puhdistamisen osalta sopivammaksi, ja käyttö on kustannustehokkaampaa. Investointi tuo mukanaan käyttäjävällyisyyttä ja käyttövarmuutta, ja erityisesti se vähentää laitokselta ympäristöön vesien mukana johdettavien kuormitustekijöiden määrää.

Uuden ja vanhan laitoksen suurimmat erot tulevat esiin laitteiston operoinnissa. Tämä ilmenee muun muassa helpompana käytettävyytenä, ja uuden laitoksen laitesijoittelu on parempi operoinnin näkökulmasta. Uudella laitoksella on haluttu vähentää myös suolapitoisuutta, joten puhdistusprosessin loppuun on sijoitettu elektrodeionisaatio- eli EDI-kalvosuodatusyksikkö. Kalvosuodatusyksikössä on lisäksi myös kationin- ja anioninvaihtohartsitehostamassa suojojen poistamista. (Strongflow 2019)

TUTKIMUKSEN MENETELMÄT

Kiintoainepitoisuuden määrittäminen puhdistetusta savukaasulauhteesta tehtiin heinä–elokuun (1.7.–31.8.2019) aikana päivittäin otetuista 500 ml:n näytteistä. Laitoksen operaattorit suorittivat näytteenoton ja näytevastaava Henri Kärkkäinen kiintoainemäärityksen. Määrittäminen suodatukseen, kuivatukseen ja punnitukseen perustuva menetelmä, ja se on toteutettu standardin SFS- EN 872 (2005) mukaisesti. Itse tehdyissä mittauksissa määrittämissuoritus on 4 mg/l, jonka jälkeen tulokset saadaan aina harppauksilla 4 mg/l.

Ennen suodatusta lasikuitusuodatin punnitaan käyttäen Precisa XT920 -mallista analyysivaakaa. Näyte sekoitetaan hyvin ja näytteestä suodatetaan 250 ml:n tilavuus Vac-safe 15 -imupumpun avulla lasikuitusuodattimen läpi, jonka jälkeen suodatin asetetaan alumiini-

nivuoalle ja vuoka viedään Termaks TS 8056 -lämpökaappiin. Näytettä kuivatetaan 90 minuutin ajan 105 °C:ssa, jonka jälkeen tehdään suodattimen kuivapunnitus. Kiintoainepitoisuus (SS) saadaan kaavalla:

$$SS = (ww - dw) / V$$

SS = kiintoainepitoisuus (mg/l)

ww = näytteen märkäpaino (mg)

dw = näytteen kuivapaino (mg)

V = näytteen tilavuus (l)

Omien määrittysten luotettavuus on todennettu vuonna 2008 tehtyjen vertailunäytteiden avulla. Vertailunäytteet analysoitiin ALS Finland Oy:n laboratoriossa samaa SFS-standardia käyttäen. Lisäksi tässä työssä omien kiintoainemäärittysten luotettavuutta arvioidaan vertailemalla elokuun 2019 keskimääräistä pitoisuutta SGS:n kokoomanäytteistä määrittämään kiintoainepitoisuuteen sekä FTF Fueling Testing Finland (FTF) oy:n tekemiin kiintoainemäärittäisiin (n = 9).

Raskasmetallimääritykset puhdistetusta savukaasulauhteesta tehtiin yhden kuukauden keruujakson aikana koostetusta kokoomanäytteestä. Otetuista osanäytteistä kaadettiin kiintoaineanalyysin jälkeen 200 ml erilliseen keruuastiaan, josta kuukauden päätyttyä otettiin kaksi litraa sekoitettua näytettä muovipulloon, joka toimitettiin SGS:lle. Jätevesinäytteen metallien kokonaispitoisuudet SGS ilmoittaa määrittävänsä menetelmän EN ISO 17294-2 mukaisesti. Kiintoaineen osalta katsotaan ympäristöraja-arvoja noudatetuiksi seuraavalla tavalla toteutettuna:

- Kiintoaineksen kokonaismäärän mittaustuloksista yksikään mittaus ei ylitä pitoisuutta 45 mg/l eikä 95 %:n pitoisuutta 30 mg/l.
- Raskasmetallien mittaustuloksista enintään yksi vuodessa ylittää raja-arvot, ja dioksiinien ja furanien kahdesti vuodessa tehtävien mittausten tulokset eivät ylitä raja-arvoja.

”Savukaasujen puhdistuksessa syntyvän jäteveden epäpuhtauksien pitoisuudet eivät saa ylittää tämän asetuksen liitteessä 4 ilmaistuja päästöjen raja-arvoja. Jätevettä ei saa laimentaa päästöjen raja-arvojen noudattamiseksi.” (Valtioneuvoston asetus jätteen polttamisesta 151/2013 15§; 24§; liite 4)

UUDEN PUHDISTAMON TOIMIVUUS

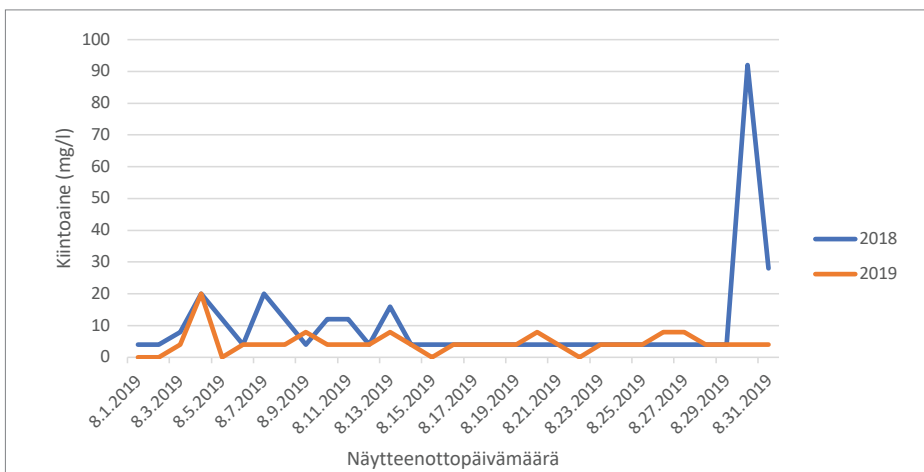
Uusi savukaasulahteen puhdistamo otettiin käyttöön heinäkuussa 2019. Heinäkuun kiintoainemäärissä on huomattavan paljon hajontaa, jota selittää uuden laitoksen käynnistämisen optimointiin liittyvät prosessit (kuva 1).



KUVA 1. Uuden puhdistamon savukaasulahteen kiintoainepitoisuus työryhmän mittaamana vuonna 2019.

Elokuun tuloksissa on vuonna 2019 havaittavissa selvää tasaantumista (kuva 2), joka voidaan selittää lämpimällä säällä ja sitä myöten pienempänä polttokuormana. Laitoksen toiminta on myös saatu tasaisemmaksi heinäkuuhun verrattuna, ja prosessi toimii paremmin. Vuonna 2018 keskimääräinen kiintoainepitoisuus puhdistetussa lauhdeessa oli 10,2 mg/l (hajonta \pm 16,4 mg/l). Tuloksia vääristää vuoden 2018 korkein piikki (92 mg/l), joka saattaa johtua epäonnistuneesta näytteenotosta. Ilman tätä arvoa on vuoden 2018 kiintopitoisuus 7,5 mg/l (hajonta \pm 6,3 mg/l).

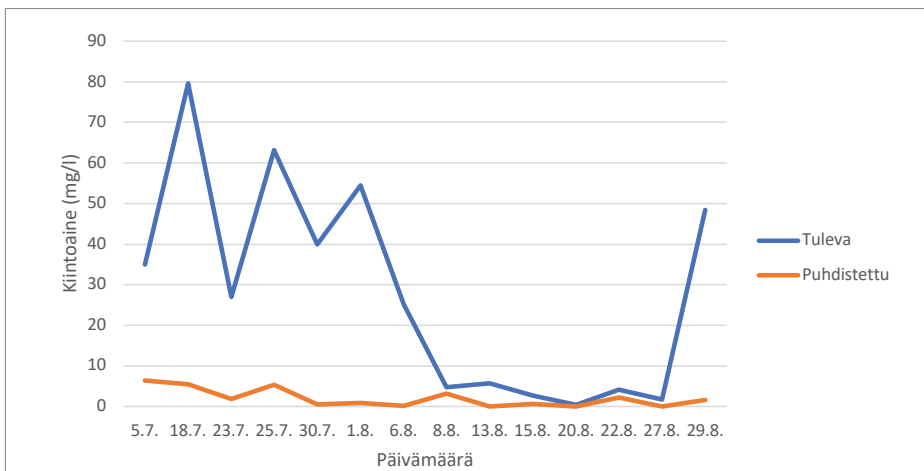
Vuonna 2019 uuden puhdistamon lauhde keskimääräinen kiintoainepitoisuus oli 5,4 mg/l (hajonta \pm 3,4 mg/l). Mittaustarkkuus (4 mg/l) huomioiden on vuoden 2019 lauhde vähintään yhtä puhdasta kiintoaineen osalta kuin vanhankin puhdistamon lauhde. Huomattavaa on, että tuloksiin vaikuttaa suuresti polttokuorma ja tulevan savukaasulahteen sisältämä kiintoaine, eivätkä ne ole suoraan verrattavissa toisiinsa.



KUVA 2. Puhdistetun savukaasulauhteen kiintoainepitoisuus (mg/l) vanhan puhdistamon aikana elokuussa 2018 (sininen) ja uuden puhdistamon aikana elokuussa 2019 (oranssi).

PUHDISTETUN LAUHTEN VERTAILU TULEVAAN LAUTEeseen

Tulevalla savukaasulauhteella tarkoitetaan lauhdetta, joka on vasta matkalla esikäsittelyyn. Lauhteen kiintoainepitoisuus on paikoin ollut hyvinkin huomattava etenkin heinäkuussa (kuva 3). Lämpöisen kesän alhaiset polttokuormat vaikuttavat savukaasulauhteen määrään alentavasti sekä oletettavasti sen laatua parantavasti. Pienemmällä teholla käydessään myös vanha savukaasupesuri pysyy hyvin mukana puhdistuksessa, ja samoin uusi vesilaitos antoi savukaasulauhteen esikäsittelyssä hyviä tuloksia kiintoainemäärän osalta. Tarkastelua onkin syytä jatkaa uuden puhdistamon osalta vielä talvella, jotta suuremman polttokuorman vaikutus kiintoaineen määrään tulee esille.



KUVA 3. FTF Fuel Testing Finland Oy:n tekemät analyysit kiintoaineen määrästä puhdistukseen tulevasta savukaasulauhteesta (sininen) sekä esikäsittelystä savukaasulauhteesta (oranssi).

RASKASMETALLIPITOISUUDET PUHDISTETUSSA LAUHTEESSA

Kuukauden aikana kootusta kokoomanäytteestä teetetyt raskasmetallianalyysit antavat hyvän kuvan esikäsitellyn savukaasulauhteen laadusta. Näytteiden mukaan laitokselta mereen johdettava lauhde alittaa valtioneuvoston asetuksessa olevat raja-arvot selkeästi, eikä ympäristökuormituksen katsota olevan suurta (taulukko 1). Tarkoituksena on, että kun laitos saadaan kokonaisuudessaan käyttöön ja puhdistettua lauhdetta otetaan takaisin kiertoon, mereen johdettavan lauhteen määrän tulisi vähentyä ja täten kuormituksen samalla vähentyä entisestään.

TAULUKKO 1. Valtioneuvoston asetus jätteen polttamisesta liite 4 raja-arvot ja SGS:n raskasmetallianalyysit elokuulta 2019 puhdistetusta savukaasulauhteesta.

Epäpuhtaus	Päästöraja-arvot suodattamattomissa näytteissä (µg/l)	Näyte elokuu 2019 (µg/l)	Määrittämissä raja (µg/l)
Kiintoainepitoisuus (ss)	95 % arvoista <30 000 100 % arvoista <45 000	4 800	2 000
Elohopea ja sen yhdisteet (Hg)	30	0,53	0,13
Kadmium ja sen yhdisteet (Cd)	50	<1	1
Tallium ja sen yhdisteet (Tl)	50	1	0,5
Arseeni ja sen yhdisteet (As)	150	<10	10
Lyijy ja sen yhdisteet (Pb)	200	<10	10
Kromi ja sen yhdisteet (Cr)	500	<10	10
Kupari ja sen yhdisteet (Cu)	500	<10	10
Nikkeli ja sen yhdisteet (Ni)	500	<10	10
Sinkki ja sen yhdisteet (Zn)	1500	17	10
Kalsium (Ca)		18548	20
Magnesium (Mg)		467	20

TULOSTEN LUOTETTAVUUDEN ARVIOINTI

Vuoden 2019 elokuussa omien kiintoaineanalyysien keskiarvo oli 5,4 mg/l (n=26, hajonta \pm 3,4 mg/l). FTF:n analysoima keskimääräinen pitoisuus vastaavalla ajanjaksolla oli 1,0 mg/l (n=9, hajonta \pm 1,1 mg/l) ja SGS:n 4,8 mg/l (kokoomanäyte). SGS:n analyysit ovat hyvin lähellä omia määrittämiä, mikä on odotettua, sillä ne on tehty omien näytteiden kokoomanäytteestä. FTF:n näytteiden pienempi pitoisuus selittyy osin pienemmän määrittämissärajajalla. Omalla 4 mg:n/l määrittämissärajalla ei näin tarkkoja tuloksia olisi voinut saada aikaan.

Mittauksien virhelähteet liittyvät näytteenottoon. Operaattorit ottavat vesinäytteen laitoskierrosten yhteydessä usein vaihtelevina vuorokauden aikoina. Myös näytteenottajia on useita, ja heidän näytteenottoaan ei ole ensimmäisen opastuksen jälkeen valvottu. FTF:n analyysien näytteet sen sijaan otettiin aina tiettyinä valittuina näytteenottopäivinä ja aina samaan aikaan ja saman näytteenottajan toimesta, joten niissä ei vastaavia virhelähteitä esiinny.

Omien näytteiden määrittämissä tarkkuus saattaa vaikuttaa karkealta. Se on kuitenkin riittävä ympäristöseurannan tarkoituksiin, sillä valtioneuvoston asetuksen liitteen 4 (2013) mukaan riittää, että kiintoainepitoisuus pysyy alle 30 mg:ssa/l. Kokonaisuutena omien tulosten luotettavuus voidaan siis arvioida riittäväksi.

JOHTOPÄÄTÖKSET

Työryhmä on mittauksien ja tulosten tulkinnan jälkeen tullut siihen päätelmään, että uudella laitoksella puhdistetut savukaasulauhteet ovat vähintään yhtä puhtaita kuin vanhankin laitoksen lauhteet. Puhdistamon käyttöönotto voidaan siis katsoa onnistuneeksi.

Tarkastelua tulisi kuitenkin jatkaa, sillä kesäajan polttoainekuormat ovat vähäisiä ja siten lauhdevesikin usein puhdasta. Puhdistamon toimivuutta olisi hyvä selvittää myös korkeimmilla polttokuormilla. Vuonna 2018 puhdistamolla tehtyjen analyysien luotettavuus arvioitiin hyväksi ulkopuolista laboratoriota käyttäen. Kyseinen työ osoittaa näytteiden keruun ja analysoinnin olevan edelleen luotettavuudeltaan tarpeeksi tarkkaa ympäristöluvan seurannan vaatimuksia ajatellen.

KIITOKSET

Työryhmä haluaa kiittää Kotkan Energia Oy:tä hyvästä ja sujuvasta yhteistyöstä projektin aikana sekä Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulua. Lisäksi haluamme vielä kiittää yhteistyökumppania FTF Fuel Testing Finland Oy:tä.

LÄHTEET

Pöyry 2016. Energiateollisuuden ympäristöpooli. WWW-dokumentti. Päivitetty 20.12.2016. Saatavissa: https://energia.fi/files/1442/Savukaasupesurit_raportti_201216.pdf [viitattu 1.11.2019].

Strongflow 2019. Vedenkäsittelyjärjestelmät. WWW-dokumentti. Päivitetty 13.9.2019. Saatavissa: <https://strongflow.fi/vedenkasittelyjarjestelmat/> [viitattu 1.11.2019].

VNA 151/2013. Valtioneuvoston asetus jätteenpolttamisesta 2013/151.

SFS-EN 872. 2005. Veden laatu. Kiintoaineen määrittäminen. Suodatus lasikuitusuodattimella. Water quality - Determination of suspended solids - Method by filtration through glass fibre filters. Suomen Standardoimisliitto SFS.



XAMK
KEHITTÄÄ