



METSÄ, YMPÄRISTÖ JA ENERGIA

Soveltavaa tutkimusta ja tuotekehitystä
Vuosijulkaisu 2018

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 2018



ETELÄ-SAVON
MAAKUNTALIITTO

Vipuvoimaa
EU:lta
2014–2020



XAMK KEHITTÄÄ 61

KAAKKOIS-SUOMEN AMMATTIKORKEAKOULU
MIKKELI 2018

© Tekijät ja Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu

Kannen kuva: Aki Mykkänen

Taitto ja paino: Grano Oy

ISBN: 978-952-344-129-3 (nid.)

ISBN: 978-952-344-130-9 (PDF)

ISSN: 2489-2467

ISSN: 2489-3102 (verkkajulkaisu)

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 antavat 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 2018 Metsä, ympäristö ja energia – soveltavaa tutkimusta ja tuotekehitystä -julkaisuun on koottu Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulun Metsä, ympäristö ja energia -vahuusalan tutkimus- ja kehittämistoiminnasta kertovia artikkeleita. Alueiden vahvuuksiin ja tulevaisuuden mahdollisuuksiin keskittyvä soveltava tutkimus- ja kehitystoiminta edistää Etelä-Savon ja Kymenlaakson aluekehitystä keskeisillä toimialoilla uutta tietoa antamalla.

Artikkeliteoksessa esitellään tutkimus- ja kehitystoiminnan tuloksia vuodelta 2018. Tuloksia on saavutettu niin hanketoiminnassa kuin osaamisen kehittämisessä. Artikkeleissa käsitellään muun muassa ympäristöturvallisuuden lisäämistä, yritystoiminnan edistämistä ja uusien teknologisten ratkaisujen käyttöönottoa. Uusia biopohjaisia materiaaleja tuottavat prosessit sekä ympäristöturvallisuutta parantavat ratkaisut ovat tärkeä osa painoalan tutkimus- ja kehitystoimintaa. Kiertotalous, energia- ja resurssitehokkuus sekä uusien teknologioiden soveltaminen ja kehittäminen ovat kasvavassa roolissa Xamkin tutkimus- ja kehitystoiminnassa, ja näitä aiheita käsitellään useassa artikkelissa.

Yksi tämän artikkeliteoksen toimittajista on Metsä ja ympäristö – puhdas ja älykäs tulevaisuus -hankkeen tutkimuspäällikkö. Tätä hanketta rahoittaa Etelä-Savon maakuntaliitto Euroopan aluekehitysrahaston varoin. Toinen toimittaja työskentelee Kuitulaboratorion tutkimus- ja kehitysasiantuntijana ja kolmas on Xamkin Metsä, ympäristö ja energia -vahuusalan tutkimusjohtaja. Tekijät kiittävät hankkeiden ja opinnäytetöiden rahoittajia ja yhteistyökumppaneita yhteisen tutkimus- ja kehitystoiminnan mahdollistamisesta.

Mikkelissä 30.11.2018

Tekijät

TEKIJÄT

JARNO FÖHR, DI, projektipäällikkö

Lappeenrannan teknillinen yliopisto, LUT Savo, Bioenergian laboratorio

ANNE GANGO, DI, projektipäällikkö

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

RAULI HAATAJA, TkL, TKI-asiantuntija

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

NOORA HAATANEN, DI, projektipäällikkö

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

YRJÖ HILTUNEN, FT, tutkuspäällikkö

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

SANNA HÄMÄLÄINEN, insinööri (AMK), opiskelija

Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu, ympäristötekniikan
koulutusohjelma

SAMI KAIPAINEN, ympäristötekniikan insinööri (AMK), verkostopäällikkö

Mikkelin Vesilaitos

EMMI KALLIO, DI, TKI-asiantuntija

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

ANTTI KARHUNEN, DI, projektitutkija

Lappeenrannan teknillinen yliopisto, LUT Savo, Bioenergian laboratorio

TEEMU KARTTAIVI, insinööri (AMK), projektityöntekijä

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

TATU KAUPPI, FM, projektitutkija

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

KATI KONTINEN, MML, johtava asiantuntija

Tapio Oy

RIKU KOPRA, TkT, TKI-asiantuntija

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

JUHA KORPIJÄRVI, TkT, yliopettaja

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

LAURI KULMALA, insinööri (AMK), tutkimusassistentti

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

EVELIINA KUOKKANEN, DI, tutkimusinsinööri

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

MARKKU KUOSA, TkT, TKI-asiantuntija

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

MAUNU KUOSA, TkT, kehitysinsinööri

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

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

MIKA LAIHANEN, DI, projektitutkija

Lappeenrannan teknillinen yliopisto, LUT Savo, Bioenergian laboratorio

MIKKO LAMPI, tutkimuspäällikkö

Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu, Digitaalinen talous -vahvuusala

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

AKI MYKKÄNEN, insinööri (AMK), tutkimusinsinööri

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

SINIKKA MYNTTINEN, MMT, asiantuntija

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

SAMI MÖRSKY, FT, tutkimusinsinööri

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

EKATERINA NIKOLSKAYA, DI, projektitutkija

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

OLLI PAAJANEN, DI, projektipäällikkö

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

TIMO PARTALA, FT, tutkimuspäällikkö

Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu, Digitaalinen talous -vahvuusala

OLLI PERÄLÄ, insinööri (AMK), opiskelija

Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu, ympäristötekniikan
koulutusohjelma

LASSE PULKKINEN, FT, tutkimusjohtaja

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

SIRPA RAHIALA, TkT, TKI-asiantuntija

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

TAPIO RANTA, TkT, professori

Lappeenrannan teknillinen yliopisto, LUT Savo, Bioenergian laboratorio

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

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

MARKO RASI, FT, TKI-asiantuntija

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

ANTI ROHUMAA, TkT, projektipäällikkö

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

LIISA ROUTAHARJU, insinööri (ylempi AMK), lehtori

Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu, Metsätalouden ja
ympäristötekniikan koulutusyksikkö

VILLE RÄTY, ins., asiantuntija

Kouvola Innovation Oy

TIINA SAARIO, DI, tutkimusinsinööri

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

HANNU SARVELAINEN, DI, lehtori

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

SAMI SIIKANEN, FM, tutkija

Teknologian tutkimuskeskus VTT

HANNE SOININEN, DI, tutkimuspäällikkö

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

JUHA SOLIO, laitosvastaava

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

KALLE SUONIEMI, DI, lehtori

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

HEIKKI SÄRKKÄ, TkT, projektipäällikkö

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

AKI TAAVITSAINEN, insinööri (AMK), opiskelija

Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu, ympäristötekniikan
koulutusohjelma

KIRSI TALLINEN, DI, tutkimuspäällikkö

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

RIIKKA TANSKANEN, DI, projektipäällikkö

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

SALLA THIL, insinööri (AMK), tutkimusinsinööri

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

ERJA TULINIEMI, Ins. (AMK), projektipäällikkö

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

RIINA TUOMINEN, insinööri (ylempi AMK), projektipäällikkö

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

TUOMAS VANHANEN, DI, tutkimusinsinööri

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

ILKKA VANTTAJA, DI, TKI-asiantuntija

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

SISÄLTÖ

LUKIJALLE.....	3
TEKIJÄT	5
TUTKIMUSTA JA RATKAISUJA BIO- JA KIERTOTALOUTEEN	15
Hanne Soininen & Lasse Pulkkinen	
JÄTEVEDENPUMPPAAMOILLE TULEVAN VESIMÄÄRÄN ENNUSTETTAVUUS.....	19
Timo Partala & Riina Tuominen & Hanne Soininen & Sami Kaipainen	
BIOKAASUKOKEET JATKUVATOIMISILLA REAKTOREILLA.....	29
Tuija Ranta-Korhonen & Hanne Soininen & Tiina Saario & Heikki Särkkä	
SAKO- JA UMPIKAIVOLIETTEIDEN HYÖDYNTÄMINEN BIOKAASUN TUOTANNOSSA.....	37
Tuija Ranta-Korhonen & Hanne Soininen & Tiina Saario & Heikki Särkkä	
LÄÄKE- JA KEMIKAALIJÄÄMIEN VAIKUTUS BIOKAASUNTUOTANTOON	43
Tuija Ranta-Korhonen & Hanne Soininen & Tiina Saario & Heikki Särkkä	
HEVOSENLANNAN DEMONSTRAATIOKOKOET ETELÄ-SAVON ELINKEINOELÄMÄÄ VAHVISTAMAAN – HEVOSWATTI.....	55
Riina Tuominen & Tuomas Vanhanen & Hanne Soininen & Jarno Föhr & Tapio Ranta	
POHJAVEDEN LAADUN MONITOROINTIA ONLINE-ANTURIEN AVULLA	63
Aki Mykkänen & Riina Tuominen	
BIOKAASUN TUOTANNON OPTIMOIMINEN PROSESSIN SEURANTAA KEHITTÄMÄLLÄ	73
Hanne Soininen & Sami Mörsky & Tuomas Vanhanen & Lasse Pulkkinen	
SISÄILMAN VOC-PITOISUUDEN ANALYSOINTI - MITTAUSMENETELMIEN VERTAILU	79
Salla Thil & Tuija Ranta-Korhonen	
BIOHIILI – UUSI KATEMATERIAALI PUUTARHOIHIN?.....	89
Niina Laurila	

AURINKOSÄHKÖN KÄYTÖN MAHDOLLISUUKSIA JA KANNATTAVUUTTA ETELÄ-SAVON PK-YRITYKSISSÄ.....	97
Riikka Tanskanen & Juha Korpijärvi	
YMPÄRISTÖNÄYTTEENOTTO - OHJATTUA TOIMINTAA.....	105
Marjatta Lehesvaara	
KENTTÄMITTAUKSET YMPÄRISTÖNÄYTTEENOTOSSA.....	113
Marjatta Lehesvaara	
ILMASTONMUUTOKSEN VAIKUTUKSET JÄRVI-SUOMEEN.....	119
Sanna Hämäläinen & Olli Perälä & Aki Taavitsainen & Liisa Routaharju	
METSÄNHOIDON SUOSITUSTEN DIGITAALINEN TRANSFORMAATIO.....	127
Kati Kontinen & Mikko Lampi	
HACKATHON INNOVAATIOALUSTANA.....	133
Mikko Lampi	
DIGIMETSÄ - SEMINAARIN JA TYÖPAJAN AVULLA KOHTI TULEVAISUUDEN DIGITAALISIA METSÄSOVELLUKSIA.....	143
Sinikka Mynttinen & Timo Partala	
PIEN-CHP-TEKNOLOGIAN SOVELTUVUUS MAATILOILLE ETELÄ-SAVOSSA..	149
Sinikka Mynttinen & Mika Laihanen & Antti Karhunen	
VANERIN PALOSUOJAUKSEN KEHITTÄMINEN.....	159
Olli Paajanen	
BIOTUOTETEHTAAN HAPPI- JA PESUVAIHEIDEN TOIMINNAN PARANTAMINEN SOVELTAEN UUSIA ON-LINE-MITTAUKSIA.....	165
Jari Käyhkö & Riku Kopra	
NOPEAN SEKOITUKSEN MITTAAMINEN SUURNOPEUSLÄMPÖKUVAUKSEN JA SÄHKÖNJOHTAVUUDEN AVULLA.....	173
Emmi Kallio & Marko Rasi & Sami Siikanen	
TEOLLISEN PURISTUSJAUHATUSMENETELMÄN KEHITYS - KUITUTASON EROT PURISTUS- JA TERÄJAUHATUKSESSA.....	183
Jari Käyhkö & Lauri Kulmala	

TUKKIHAUTOMOLIETTEEN KÄSITTELY JA LIETTEEN JATKOKÄYTÖN MAHDOLLISUUKSIA.....	193
Markku Kuosa & Riku Kopra	
ONLINE MONITORING OF THE WOOD-DRYING PROCESS BY SINGLE-SIDED NMR.....	199
Ekaterina Nikolskaya & Anti Rohumaa & Yrjö Hiltunen	
IIOT- JA AR-TEKNOLOGIAN HYÖDYNTÄMINEN KASVUEKOSYSTEEMIN KEHITTÄMISESSÄ.....	205
Rauli Haataja & Kari Kärkkäinen & Arttu Lehtinen	
3D-TULOSTUSTEKNOLOGIAN MAHDOLLISUUDET JA BIOMATERIAALIT.....	215
Ilkka Vanttaja & Tatu Kauppi & Kari Kärkkäinen	
HITU - HIEONNETUN PARTIKKELIN OMINAISUUKSIA JA MERKITYS ERI SOVELLUKSILLE	223
Anne Gango & Eveliina Kuokkanen	
ENERGIATEHOKAS PUMPPAUS	233
Kalle Suoniemi & Hannu Sarvelainen & Erja Tuliniemi	
ENERGIATEHOKUUTTA ECOOL-HANKKEESSA.....	239
Eveliina Kuokkanen & Erja Tuliniemi	
MONIPUOLISET BIOTALOUDEN PILOTOINTI- JA MITTAUSMAHDOLLISUUDET KYMENLAAKSOON.....	247
Sirpa Rahiala & Juha Solio & Kirsi Tallinen	
BIOHIILI KASVUALUSTASSA	255
Kirsi Tallinen & Juha Solio & Maunu Kuosa & Ville Rätty	
ALUELÄMMITYSVERKON SUUNNITTELU JA MITOITUS.....	265
Teemu Karttaavi & Erja Tuliniemi & Maunu Kuosa & Hannu Sarvelainen	



Kuva: Aki Mykkänen

TUTKIMUSTA JA RATKAISUJA BIO- JA KIERTOTALOUTEEN

Hanne Soininen & Lasse Pulkkinen

Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulun (Xamk) Metsä, ympäristö ja energia vahvuusalan tutkimus- ja kehittämistoiminta (TKI) edistää Kaakkois-Suomen maakuntien Etelä-Savon ja Kymenlaakson menestyksen ja kasvun kannalta tärkeitä toimialoja ja osaamisklustereita. Samalla on vahvistettu kunkin maakunnan TKI-toiminnan kärkiä biotalouden, kierrätystalouden, puhtaan veden sekä uusiutuvan energian sektoreilla. Kymenlaaksossa teollisuuden tarpeet, uudet merkittävät liiketoimintamahdollisuudet sekä Xamkin TKI-osaaminen ovat merkinneet vihreän energian, energiatehokkuuden, biotalouden ja teollisuuden sivuvirtojen hyödyntämisen painottumista alan TKI-toiminnassa. Hankekantaa ja tutkimusyksiköiden osaamista on vahvistettu ja vahvistetaan edelleen tältä pohjalta.

Mikkelissä ympäristöturvallisuus on pitkäjänteisesti rakennettu osaamiskokonaisuus, jossa painotus on vesiteknologiassa ja puhtaassa ympäristössä. Tämä tulevaisuuden liiketoimintaekosysteemi hakee uusia innovaatioita bio- ja kierrätystalouden ratkaisuksista. Se linkittyy erinomaisesti myös Mikkelin kaupunkikehitykseen ja Etelä-Savon maakunnan osaamiskärkiin. Savonlinnassa vahva kuitu- ja prosessiteknikan tutkimus- ja innovaatiotoiminta on laajentunut puurakentamiseen sekä kuituprosesseihin sovellettavien teollisen internetin ratkaisujen kehittämiseen kehittyvän Biotuotetekniikan keskuksen osana. Projektit ja projektituomit asiakkaaineen ovat entistäkin monialaisempia pitäen sisällään prosessi-, biotuote-, materiaali-, mittaustekniikan ja ICT-alan osaajia ja yrityksiä.

TKI-toiminnassa syntyy täysin uusia teknologiaratkaisuja ja tietoa, jotka tukevat asiakasyritystemme liiketoiminnan uudistamista, kasvua ja kansainvälistymistä. Samalla tuotetaan merkittävä yli sadan asiantuntijan panos osaamisen alueelliseen kehittämiseen. Osaamisemme ja laboratoriomme ovat edelleen vahvoja biotuote- ja kuituteknikan, jätevesien puhdistuksen, ympäristöturvallisuuden, puun modifoinnin sekä energiateknikan aloilla. Kierrätystalouden alalla asemamme on vahvistunut, ja täysin uusia tutkimusavauksia on saatu liikkeelle. Yhteistyö lähes 400 yrityksen kanssa tutkimus- ja kehittämishankkeissa, tilaustutkimuksessa sekä pilotointi- ja analyysipalveluissa on perusta, jota osaamisalalla halutaan vaalia ja vahvistaa.

Tässä artikkeliteoksessa esitellään Xamkin Metsä, ympäristö ja energia vahvuusalan TKI-toimintaa, jota on toteutettu Kotkan, Kouvolan, Mikkelin ja Savonlinnan yksiköissä vuonna 2018. Julkaisu kattaa osan tästä yritysten ja muiden yhteistyökumppaneiden kanssa yhteistyössä tehtävästä soveltavasta tutkimuksesta ja kehitystoiminnasta.

KANSALLISTA JA KANSAINVÄLISTÄ TUTKIMUSTA JA UUSIEN TEKNOLOGIOIDEN KEHITTÄMISTÄ

Xamkin Metsä, ympäristö ja energia -vahvuusalueella tehdään TKI-työtä monipuolisella kehittämisrahoituksella, ja toiminnassa korostetaan yritysälähtöisyyttä ja tuloksellisuutta. Lisäksi laboratoriot tekevät yritysten tarpeiden mukaista tutkimusta palveluliiketoimintana.

Etelä-Savon maakuntaliiton Euroopan aluekehitysrahastovaroin rahoittamalla Metsä ja ympäristö – puhdas ja älykäs tulevaisuus -hankkeella on vahvistettu Xamkin tutkimus-, kehittämis- ja innovaatiotoimintaa erityisesti Mikkelin seudulla. Hanke on kehittänyt alueen metsävarojen hyödyntämistä ja maaseutuelinkeinoja, alueen puutuoteteollisuutta ja teknologiateollisuutta. Hanke on lisännyt kiertotalouden tavoitteiden saavuttamista Etelä-Savon alueella edistämällä muun muassa orgaanisten materiaalien kierrätystä ja jätteiden hyötykäyttöä. Hanke on lisännyt myös uusiutuvien energialähteiden käyttöä ja edistänyt vähähiilisyuden toteutumista. Hanke on mahdollistanut vuorovaikutteisuuden lisäämisen eri sidosryhmien kanssa sekä kansallisesti että kansainvälisesti. Uusia kansallisia ja kansainvälisiä verkostoja on hyödynnetty erityisesti rahoituslähteiden hankinnassa (muun muassa Interreg- ja CBC-ohjelmat sekä EU Horizon 2020 -rahoitukset) ja alueen elinkeinoelämän vahvistamisessa. Tämän artikkelin toinen kirjoittaja työskentelee Xamkin Metsä ja ympäristö – puhdas ja älykäs tulevaisuus -hankkeessa.

YMPÄRISTÖTURVALLISUUDEN TKI-TOIMINNALLA UUSIA AVAUKSIA BIO-, VESI- JA KIERTOTALOUTEEN

Xamkissa ympäristöturvallisuudella tarkoitetaan luonnonvarojen kestävää käyttöä, yritysten kehittämistä ympäristöystävällisemmiksi ja puhtaan elinympäristön turvaamista. Kehitystyön tavoitteita ovat puhtaat teknologiset ratkaisut bio-, vesi- ja kiertotaloudessa sekä älykkäät monitorointimenetelmät.

Ympäristöturvallisuuteen liittyvä TKI-toiminta keskittyi vuonna 2018 muun muassa sisäilman laadun mittaamiseen ja energiatehokkuuden edistämiseen yhdessä alueen yritysten kanssa. Tutkimusyhteistyötä on tehty yritysten ja tutkimuslaitosten kanssa myös vesien ja sivuainevirtojen käsittelyn tiimoilta. TKI-toimintaa tehtiin myös muun muassa pohjavesialueiden ympäristöriskien hallinnassa sekä mittaus-, mallinnus- ja monitorointitekniikoiden kehittämisessä. Tutkimustyön toteutusta on edistänyt Xamkin Mikkelin ympäristölaboratorion osallistuminen hanketoimintaan. Ympäristöturvallisuuden artikkeleissa on esillä tänä vuonna muun muassa Etelä-Savon ELY-keskuksen ja Etelä-Savon maakuntaliiton Euroopan aluekehitysrahastovaroin ja Alueelliset innovaatiot ja kokeilut (AIKO) rahoituksella rahoitettujen hankkeiden tuloksia. Lisäksi on esitetty uusia tuloksia Business Finlandin rahoittamista Smart Effluents- ja GasOpti-hankkeista (EAKR-osarahoitteinen).

METSÄTALOUS JA PUURAKENTAMINEN

Metsätaloudessa ja puurakentamisessa TKI-toimintamme osaamiskärkiä ovat kestävä ja tehokas metsänhoito ja puunkorjuu sekä yksityismetsätalouden liiketoimintaosaaminen. Digitalisaation megatrendi on edennyt pitkälle metsätaloudessa ja puulogistiikassa ja Xamkin TKI-toiminnassa on vahvasti pureuduttu alan soveltavaan kehittämiseen ja erityisesti osaamisten jalkauttamiseen alueen yrityskenttään. Puun modifioinnin TKI-aktiiviteetti on kehittynyt myönteisesti sekä lämpöpuun että viilujen modifioinnin osalta. Osaamisen kehittämisessä panostuksia on lisätty merkittävästi teollisen puurakentamisen ja koko eteläsavolaisen rakentamisklusterin kilpailukyvyyn vahvistamiseen.

Puututkimus tukee alueen vahvaa puutuoteteollisuutta ja on osaltaan luomassa perustaa vahvistuvalle ja monipuolistuvalle puurakentamisen osaamisen kehittämiseksi ja yritys-yhteistyölle. Mielenkiintoista renessanssia eletään myös alueen vahvan vaneriteollisuuden tutkimuksessa, jossa Aalto-yliopisto on Xamkin tutkimuksen vakiintunut yhteistyökumppani. Viilujen palosuojaustutkimuksen tulokset tarjoavat toivottavasti täysin uusia tuote- ja valmistusratkaisuja puurakentamisen kasvavaan kysyntään pohjautuville kansainvälisille markkinoille. Uutena avauksena on käynnistetty mittausteknologian kehittäminen viilun valmistuksen parempaan hallintaan, ja tuloksena on syntynyt nopeasti täysin uutta tutkimusyhteistyötä alan kärkiyritysten kanssa.

KYMENLAAKSO ETURINTAMASSA ENERGIA-TEHOKKUUDEN JA KIERTOTALOUDEN KEHITTÄMISESSÄ

Xamkin Metsä, ympäristö, energia -vahvuusalan Kotkan yksiköiden tulokset energiatehokkuuden sovellusten ja pilotointiympäristöjen kehittämisessä ovat laajasti esillä tässä julkaisussa. Alueen tärkeä tutkimuksen ja kehitystyön ideoiden lähde sijaitsee rakennustekniikan, energiatekniikan ja kiertotalouden rajapinnassa. Alueen suurteollisuus tuottaa merkittäviä määriä vielä hyödyntämättömiä jätteitä ja sivuvirtoja, jotka ovat luonteva lähtökohta innovatiiviselle ratkaisulähtöiselle kehitystoiminnalle. Bio-, energia- ja kiertotalouden osaamisen vahvistaminen on Xamkin strateginen valinta, joka on johtanut tutkimusyksiköiden ja -laboratorioiden kehittämispanoksiin. Kehitystoiminnassa vihreän hajautetun energiantuotannon rinnalle ovat tulleet biohiilen korkean lisäarvon tuotteiden tutkimus sekä tuhkan hyödyntäminen täysin uusissa kiertotalouden ratkaisuisissa. Julkaisun artikkelit esittelevät tuhkan hyötykäytön lähtökohtia kiertotalouden materiaalina esimerkiksi betoniteollisuuden raaka-aineena.

Myös soveltavan tutkimuksen perusteiden vahvistaminen on tärkeää. Kotkan tutkimustiimeissä on panostettu yhteistyökumppaneiden kanssa vaikeasti hyödynnettävien energia- ja materiaalivirtojen kokeelliseen toimintaan, analytiikkaan ja mallinnukseen. Tämä osaamisperusta mahdollistaa entistäkin merkittävämpien innovaatioprojektien toteuttamisen.

Samalla alueellinen erikoisosaaminen tulee näkyvämmäksi laajassa bio- ja kiertotalouden kansainvälisessä tutkimuskentässä. Merkittävää on myös Biosammon kokeellisten tutkimus- ja pilotointiympäristöjen uudistaminen, ja ajankohtaisia tuloksia ja toteutettavia suunnitelmia esitellään julkaisussa Kymbio- ja BIO-Pilotit -hankkeiden näkökulmista. Energiantuotannon päästöjen hallinta on tulevaisuudessa entistä tärkeämpää, ja päästömittausten uudet teknologiat ja entistä syvällisempi osaaminen uudistavat alueen teknologiamarkkinaa ja teollisuuden arvostamaa osaamiskärkeä. Samalla tarjotaan entistäkin mielenkiintoisempia mahdollisuuksia TKI-toiminnan ja insinööriopetuksen yhteistyölle.

SAVONLINNASSA KUITUPROSESSIT JA UUDET TEKNOLOGIAT KOHTAAVAT

Xamkin Savonlinnan TKI-toiminnan kiistaton ja kansallisesti tunnistettu vahvuus on kuitutekniikka eri muodoissaan. Toimintaympäristö on vahvistunut vuoden 2018 aikana Kuitu 3 -toimintaympäristön valmistuessa. Toimintaympäristöön on rakennettu myös sellu- ja kartonkiteollisuuden digitalisaatiota ja palveluliiketoimintoja edistävä kokeilu ympäristö teollisuusyhteistyössä teollisuuden tarpeiden pohjalta. Perinteiset mittausteknologiat johtavat perinteisten prosessiratkaisujen kehittämiseen. Uudet, entistä nopeammat reaaliaikaiset ja luotettavat mittaukset ja niiden soveltaminen kuituprosesseihin sellu-, paperi- ja kartonkiprosesseissa ovat tuoneet Savonlinnassa tehtävälle tutkimukselle merkittävän kansainvälisen aseman. Merkittäviä läpimurtoja on saavutettu muun muassa sellun valmistuksen happivaiheen tutkimuksessa sekä paperin ja kartongin valmistuksen apuaineiden käytön tehostamisessa. Kehitystyössä ovat olleet mukana Kuitulaboratorion tutkimusympäristön ja asiantuntijoiden lisäksi alan teknologiatoimittajat, tehtaat sekä VTT.

JÄTEVEDENPUMPPAAMOILLE TULEVAN VESIMÄÄRÄN ENNUSTETTAVUUS

Timo Partala & Riina Tuominen & Hanne Soininen & Sami Kaipainen

Jätevesiverkoston vuotovesien määriä, vuotovesien muodostumista sekä niiden vaikutusta laitosten energiankulutukseen selvitettiin hankkeessa Etelä-Savon vesihuoltolaitosten vuotovesistä – vähähiilisyyden edistämiseksi (VEVO-hanke). Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulun hanketta rahoittivat Etelä-Savon ELY-keskus Euroopan unionin aluekehitysrahastosta (EAKR 2014–2020) sekä Mikkelin Vesilaitos, Savonlinnan Vesi ja Pieksämäen Vesi Oy. Tässä tutkimuksessa tutkittiin pumppaamoiden vesimäärien ennustettavuutta yksinkertaisilla malleilla Mikkelin vesilaitoksen toiminta-alueella. Tutkimus käytti tausta-aineistoina VEVO-hankkeen tuloksia ja se toteutettiin Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulun hallinnoiman hankkeen Metsä ja ympäristö – puhdas ja älykäs tulevaisuus puitteissa. Hanketta rahoitti Etelä-Savon maakuntaliitto Euroopan aluekehitysrahastosta.

YLEISTÄ VUOTOVESISTÄ

Jätevedenpuhdistamoilla pystytään arvioimaan tulevan jäteveden määrää vertaamalla sitä käytettyyn puhtaan veden määrään, sillä yleisesti ottaen talousveden ja jäteveden määrien arvioidaan olevan yhtä suuret. Jäteveden määrää kuitenkin lisäävät vuotovedet, jotka muodostuvat erilaisista hulevesistä ja pohjavedestä. Vuotoveden osuus saattaa olla 30–50 % koko jätevesimäärästä.

Suuret vuotovesimäärät asettavat haasteita jätevesienkäsittelylle sekä jätevesiverkoston ja jätevedenpuhdistamojen toiminnalle. Kaupunkiympäristössä vuotovedet muodostuvat usein sade- ja sulamisvesistä eli hulevesistä. Hulevedet pääsevät jätevesiverkkoon muun muassa viemärinkansien ja kaivojen kautta lähinnä lumien sulamisen ja rankkasateiden aikaan.

Vuotovesien määrä on yleensä suurimmillaan voimakkaiden sateiden sekä lumien sulamisen aikaan. Vuotovedet kuormittavat jätevesijärjestelmiä, vaikeuttavat puhdistusprosessia, lisäävät prosessin energiankulutusta ja voivat pahimmillaan aiheuttaa yli- tai ohivuotoja jätevedenpumppaamoissa ja puhdistamoissa. Tämä saattaa johtaa ympäristön pilaantumiseen tai aiheuttaa terveystariskin.

Vuotovesien tunnistamisessa voidaan käyttää pohjana jätevedenpumppaamoiden pumpaamien vesimäärien ennustamista aikaisempien vesimäärien ja säätilan (mm. sademäärä) perusteella (Tuominen & Vuorinen 2017). Ennustamisen avulla voidaan arvioida puhdistamolle tulevan jäteveden määrää ja varautua siihen.

Vuotovesien määrän arvioinnissa käytettyjä tietoja ovat esimerkiksi pinnankorkeusmittaukset, päivittäinen jäteveden virtaama tai erilaiset pitoisuusmittaukset (Tuominen & Peterle 2017). Tällaista mallinnusta on tehty maailmalla jonkin verran. Esimerkiksi Adamsin & Papan (2002) mukaan havaittuja sademääriä ja jätevesiverkoston virtausmääriä voidaan käyttää hyväksi jätevesiverkoston kunnan jatkuvassa arvioinnissa. Heidän lähestymistapansa perustuu probabilistiseen analyysiin.

MIKKELIN VESILAITOS PILOTOINTIKOHTENA

Mikkelin vesilaitos toimitti tiedot viideltä Otavan siirtolinjan pumppaamolta kolmen kuukauden ajanjaksolla 23.5.2017–22.8.2017 (yhteensä 92 vuorokautta). Pumppaamot olivat Otava, Oulanki, Tikkala, Vehkasilta ja Orijärven rantatie. Tarkasteluperiodiksi valittiin kesäaika, koska haluttiin tarkastella vesimäärien ennustettavuutta ilman lumien sulamisvesien vaikutusta. Vesilaitoksen toimittamista tiedoista analysointiin ainoastaan pumppaamoiden vesimäärää (m³). Lisäksi hyödynnettiin sademäärätietoja, jotka perustuvat avoimesti verkossa olevaan Ilmatieteen laitoksen Mikkelin lentokentän mittauspisteen sademäärädataan (mm). Mikkelin lentokentän sademäärädataa ei ollut saatavissa päiville 11.7.2017 ja 10.8.2017, joten näinä päivinä aineistossa käytettiin Mikkelin Pitkähiekan sademäärädataa. Tiedot analysoitiin käyttäen Microsoft Exceliä ja XLSTAT-lisäosaa.

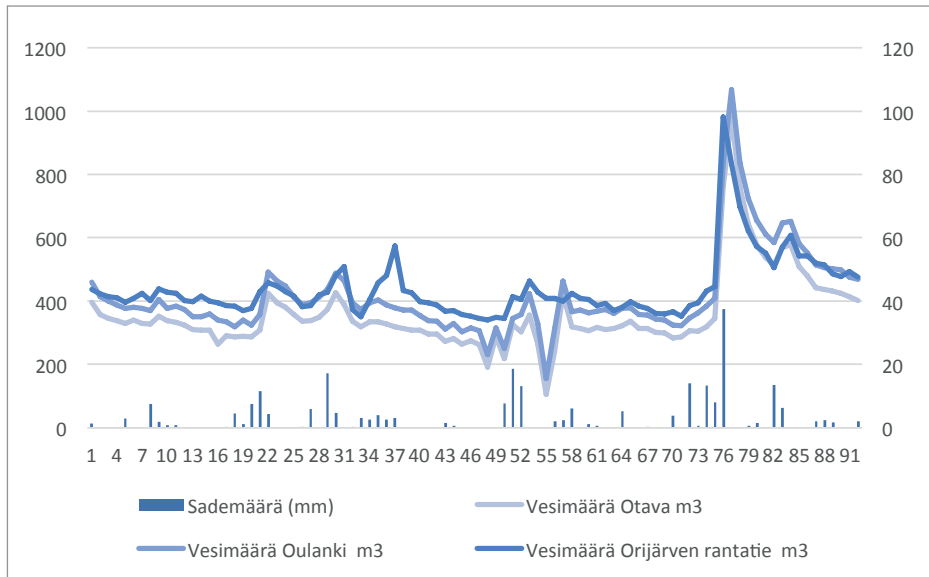
VESIMÄÄRÄT PUMPPAAMOILLA

Pumppaamoiden välillä oli eroja vesimäärissä siten, että Tikkalan ja Vehkasillan pumppaamoilla päivittäiset vesimäärät olivat selvästi suuremmat kuin Otavan, Oulangin ja Orijärven rantatien pumppaamoilla. Lisäksi pumppaamoiden vesimäärissä oli suurta vaihtelua eri ajankohtien välillä. Keskimääräiset hajonnat 92 vuorokauden ajalla olivat noin 22–34 % pumppaamoiden keskimääräisistä vesimääristä. Vesimäärien keskiarvot ja keskihajonnat tarkastelun kohteena olleilla pumppaamoilla on esitetty taulukossa 1.

TAULUKKO 1. Vesimäärien keskiarvot ja keskihajonnat pumppaamoilla.

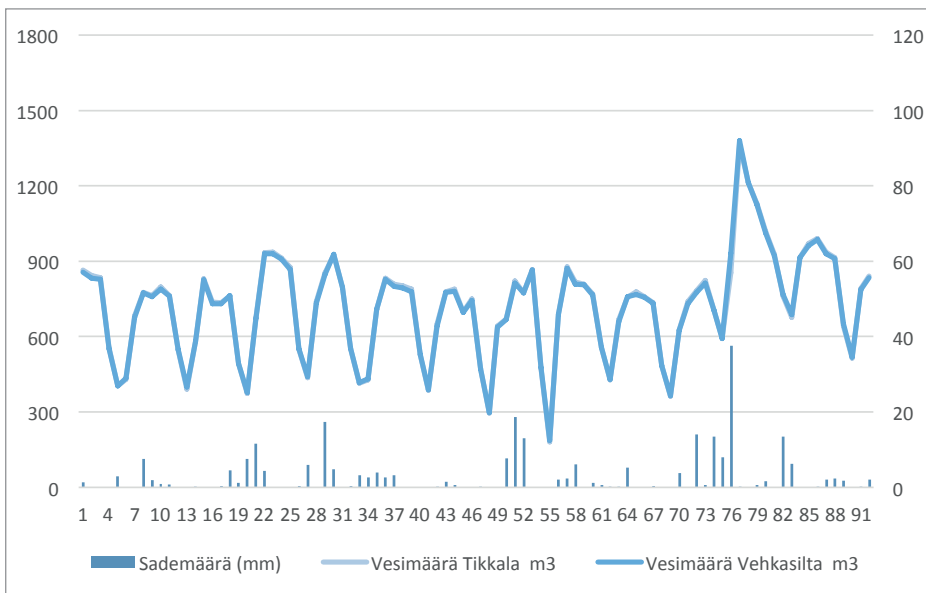
Pumppaamo	Keskiarvo (m)	Keskihajonta
Otava	360,6	122,3
Oulanki	415,6	131,8
Tikkala	718,6	201,4
Vehkasilta	717,2	200,2
Orijärven rantatie	438,8	98,1

Päivittäisten vesimäärien muutosta ajan funktiona tarkasteltaessa havaittiin, että Otavan, Oulangin ja Orijärven rantatien pumppaamoilla vesimäärän muutokset olivat samansuuntaiset (kuva 1, vasemmanpuoleinen asteikko). Näillä pumppaamoilla vesimäärä kasvoi elokuun alkupuolella selvästi hetkellisesti, mahdollisesti elokuun alun sateiden seurauksena (4.–6.8.2017 yhteensä 59 mm sadetta). Heinäkuussa Otavan ja Oulangin pumppaamoilla oli selkeä piikki alaspäin. Päivittäiset sademäärät ovat kuvattu pylväänä kuvan 1 alareunassa (oikeanpuoleinen asteikko).



KUVA 1. Vesimäärän ja sademäärän muutos ajan funktiona, Otava, Oulanki ja Orijärven rantatie.

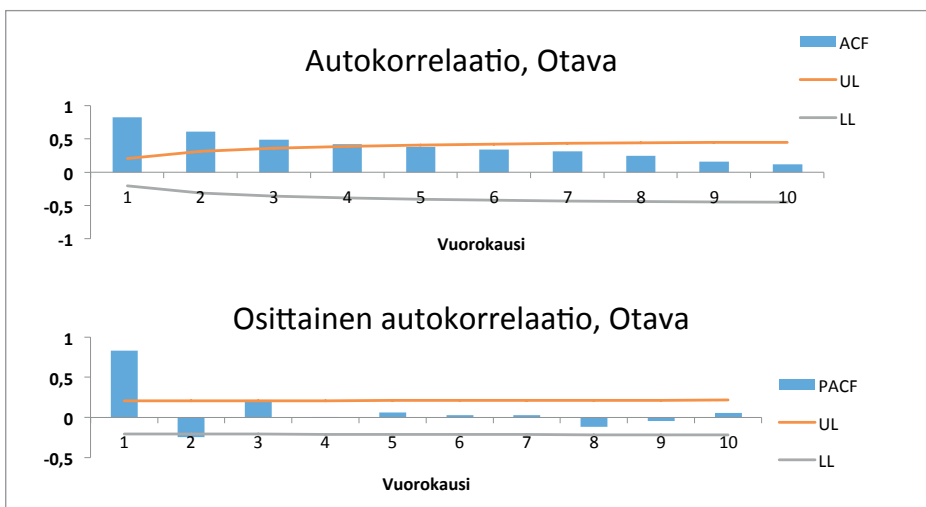
Tikkalan ja Vehkasillan pumppaamoilla vesimäärän muutos noudatti viikoittaista rytmiä siten, että vesimäärät olivat suurimmat arkipäivinä ja pienimmät viikonloppuina (kuva 2). Myös suuri sademäärä elokuun alussa ja vesimäärän hetkellinen vähentyminen heinäkuussa ovat nähtävissä kuvaajasta. Pumppaamoiden vesimäärät olivat niin lähellä toisiaan, että ne näkyvät yhtenä aikajanana kuvassa 2. Tästä voi päätellä, että vuotovesien määrä niiden välillä on olematon tai hyvin vähäinen. Päivittäiset sademäärät on jälleen kuvattu pylväänä kuvan alareunassa (oikeanpuoleinen asteikko).



KUVA 2. Vesimäärän ja sademäärän muutos ajan funktiona, Tikkala ja Vehkasilta.

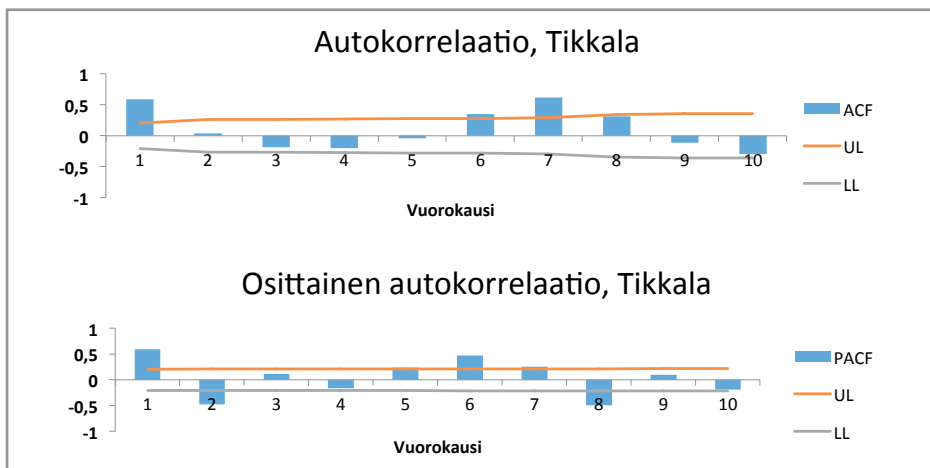
VESIMÄÄRÄN AUTOKORRELAATIOT

Autokorrelaatio (*Autocorrelation Function, AFC*) kuvaa aikasarjan havaintojen välistä riippuvuutta havaintojen välisen aikaeron funktiona. Osittainen autokorrelaatio (*Partial Autocorrelation Function, PACF*) puolestaan kuvaa havaintojen välistä korrelaatiota aikaisempien havaintojen kanssa siten, että välissä olevien datapisteiden vaikutus on poistettu. Esimerkiksi nykyisen ja viisi päivää aikaisemmin havaitun vesimäärän korrelaation laskennassa poistetaan (kontrolloidaan) 1–4 päivää aikaisemmin havaittujen vesimäärien vaikutus.



KUVA 3. Autokorrelaatio ja osittainen autokorrelaatio, Otavan pumppaamo.

Tutkimalla autokorrelaatioita voidaan arvioida, kuinka hyvin aikaisemmin pumppaamoissa kulkenutta vesimäärää voidaan käyttää tulevien vesimäärien ennustamisessa. Myös autokorrelaatioissa tulokset jakautuivat viiden pumppaamon osalta kahteen ryhmään. Otavan, Oulangin ja Orijärven rantatien pumppaamoissa (kuvassa 3 esimerkkinä Otavan pumppaamo) aiempien vesimäärien ennustusvoima laskee tasaisesti taaksepäin tarkasteltaessa siten, että ennusteissa eniten käyttökelpoisia olivat edeltävien 1–3 päivän arvot, joista erityisesti edellisen päivän arvolla oli korkea korrelaatio seuraavan päivän arvon kanssa (esim. Otava: 0,83). Tikkalan ja Vehkasillan pumppaamoilla (kuvassa 4 esimerkkinä Tikkala) merkitseviä korrelaatioita oli edeltävien 1–2 ja 6–8 päivien arvojen kanssa. Suurin korrelaatio päivän vesimäärällä oli Tikkalassa 7 päivää aikaisemman vesimäärän kanssa (0,62). Kuvissa 3 ja 4 vaaka-akselilla on aika taaksepäin vuorokausina ja pystyakselilla korrelaatiokerroin.



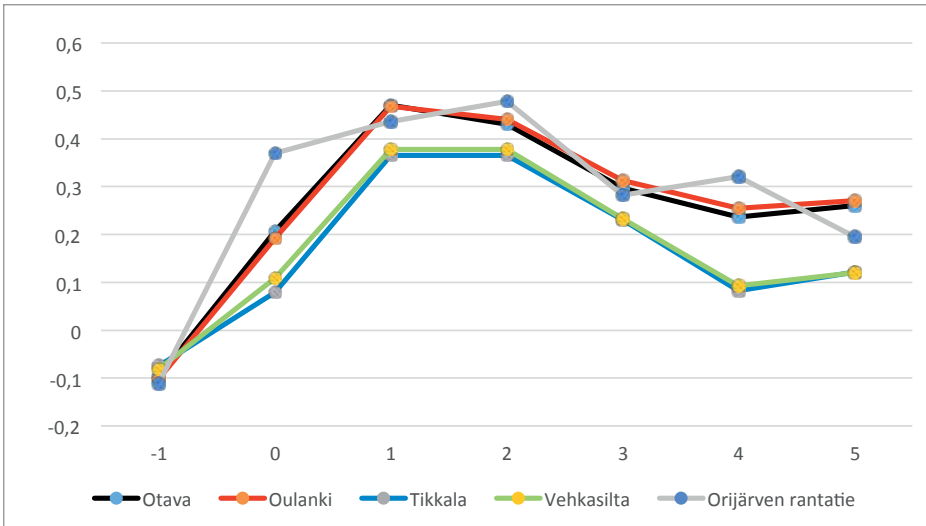
KUVA 4. Autokorrelaatio ja osittainen autokorrelaatio, Tikkalan pumppaamo.

SADEMÄÄRÄN VAIKUTUS PUMPPAAMOJEN VESIMÄÄRÄÄN

Sademäärän ja pumppaamoiden vesimäärän korrelaatiota tutkimalla voidaan selvittää muuttujien välisen yhteisvaihtelun aste, ja laskemalla korrelaatiot eri aikapisteidien välillä voidaan selvittää, milloin sademäärän kasvu näkyy pumppaamoille tulevan veden määrässä.

Sademäärän ja pumppaamoilla mitattujen vesimäärien suhde (Pearsonin momenttikorrelaatio) on kuvattu kuvassa 5. Kuvassa nolla kuvaa sademäärän mittausajankohtaa, yksi kuvaa yhtä päivää sademäärän mittausajankohdan jälkeen ja niin edelleen. Pumppaamoiden välillä on vaihtelua siinä, milloin vesimäärä alkaa korreloida alueella mitatun sademäärän kanssa. Orijärven rantatien pumppaamolla vesimäärä kasvaa yhdessä sademäärän kanssa jo samana

päivänä, mutta muilla pumppaamoilla kasvua on vain vähän. Yleisesti ottaen sademäärät korreloivat eniten pumppaamoille 1–2 päivää sateen jälkeen tulevien vesimäärien kanssa. Kaikki korrelaatiot olivat kuitenkin alle 0,5. Näiden tulosten perusteella aikaisempien päivien sademäärä on käyttökelpoinen tieto ennustettaessa päivän vesimäärää pumppaamoilla esimerkiksi aikaisemman vesimäärätiedon lisänä, mutta yksin sademäärän perusteella ei päästä suureen tarkkuuteen.



KUVA 5. Sademäärän ja pumppaamoille tulevan vesimäärän korrelaatio suhteessa aikaan.

SUUNTAA ANTAVA KOKEILU VESIMÄÄRÄN ENNUSTAMISEEN

Kokeilimme yksinkertaisilla lineaarisilla malleilla, millä tarkkuudella aikaisemman vesimäärän, vesimäärän muutoksen suunnan ja sademäärän perusteella voidaan ennustaa tulevaa vesimäärää. Kokeilun dataksi valittiin Otavan pumppaamon vesimäärätiedot. Edellisen ja seuraavan päivän vesimäärien korrelaatio oli Otavan pumppaamolla korkea (0,83). Täten kokeiluun otettiin vertailukohdaksi mukaan malli, jossa käytetään suoraan edellisen päivän vesimäärää, eli varaudutaan siihen, että pumppaamolle tulee sama vesimäärä kuin edellisenä päivänä. Tämä malli tuotti keskimäärin 37,3 m³ arviointivirheen.

Lisäksi muodostettiin kolme muuta yksinkertaista ennustavaa mallia, joista ensimmäisessä hyödynnettiin kahden edellisen päivän vesimääriä ja niiden välisen muutoksen suuntaa, toisessa käytettiin edellisen päivän vesimäärää ja kahden edellisen päivän sademääriä, ja kolmas oli yhdistelmä kahta aikaisempaa pienemmällä kertoimilla, koska vesimäärän muutoksen suunta ja sademäärä vaikuttavat usein samansuuntaisesti. Sademääriä käytet-

tiin siten, että jos sademäärä oli keskimääräistä sademäärää (2,8 mm/päivä) alhaisempi, se vaikutti vesimääräennustetta alentavasti, ja jos taas korkeampi, se vaikutti vesimääräennustetta nostavasti. Malleja testattiin Otavan pumpppaamon 90 vuorokauden datalla (päivät 3–92 kesän 2017 datassa), koska mallit tarvitsivat tietoa kaksi vuorokautta ennustettavaa vuorokautta edeltävältä ajalta.

Malleja muodostettaessa kävi nopeasti selväksi, että suurin haaste on vesimäärän äkillisten muutosten ennustaminen ja se, että mallin pitäisi reagoida niihin oikeankokoisella muutoksella ennusteessa. Mallit viritettiin ensin siten, että niihin liittyvät kertoimet määritettiin visuaalisesti suunnilleen kohdalleen suurimpien muutosten osalta vertaamalla ennustekuvaajaa toteutuneeseen kuvaajaan. Tämän jälkeen laskettiin tarkemmat kertoimet. Aineistossa oli kuitenkin muutoksia, joita ei pystytty ennustamaan aikaisemman vesimäärän trendin tai sademäärän perusteella, jolloin mallit kulkivat yhden vuorokauden perässä reagoiden muutoksiin muun muassa vesimäärässä.

Mallit ja niissä käytetyt laskentakaavat sekä niiden arviointivirheet ja korrelaatiot toteutuneen vesimäärän kanssa on kuvattu taulukossa 2. Kolmella edistyneemmällä mallilla päästiin parempiin tuloksiin kuin käyttämällä ennusteena pelkästään edellistä arvoa, mutta vain hieman. Keskimääräiset arviointivirheet olivat noin 10 %:n luokkaa Otavan pumpppaamon vesimäärästä.

TAULUKKO 2. Neljä yksinkertaista mallia vesimäärän arviointiin.

Malli ja kaava	Arviointivirhe ka (m ³)	Korrelaatio
Edellinen arvo evm = vm1	37,3	0.830
Trendi 2 vrk evm = vm1 + 0,2*(vm1 - vm2)	37,0	0.840
Edellinen arvo + sademäärä 2 vrk evm = vm1 + (3*((sade1 - 2,8) + (sade2 - 2,8)))	36,6	0.859
Yhdistelmä trendi 2 vrk + sademäärä 2 vrk evm = vm1 + (0,1*(vm1 - vm2)) + (2*((sade1 - 2,8) + (sade2 - 2,8)))	35,6	0.852

evm = ennustettu vesimäärä (m³)

vm1 = vesimäärä vuorokautta aikaisemmin (m³)

vm2 = vesimäärä kahta vuorokautta aikaisemmin (m³)

sade1 = sademäärä vuorokautta aikaisemmin (mm)

sade2 = sademäärä kahta vuorokautta aikaisemmin (mm)

JOHTOPÄÄTÖKSET

Tulokset osoittivat, että pumppaamoille tulevien vesimäärien ennustaminen on mahdollista yksinkertaisillakin malleilla, joskin suureen tarkkuuteen pääseminen voi olla vaikeaa. Tässä artikkelissa analysoidussa aineistossa oli jonkin verran vesimäärän muutoksia, jotka eivät selittyneet analysoitavilla muuttujilla, vaan johtuivat muista tekijöistä. Lisäksi pumppaamoiden välillä oli suurta vaihtelua: tähänkin aineistoon mahtui pumppaamoita, joiden vesimäärien ennustaminen olisi vaatinut täysin erilaiset mallit.

Tämän tutkimuksen aineistossa kolmella viidestä pumppaamosta korrelaatio edellisen päivän vesimäärän kanssa on suuri, jolloin suuntaa antava arvio päivän tulevasta vesimäärästä saadaan jo suoraan edellisen päivän vesimäärän perusteella. Tätä voi hieman parantaa ottamalla huomioon muutoksen suunnan (trendin) kahden edellisen päivän ajalta ja kahden edellisen päivän sademäärän. Kahden muun pumppaamon vesimäärä noudatti syklistä viikkorytmiä, jolloin vesimäärä muuttui systemaattisesti seitsemän päivän jaksoissa. Näiden vesimäärän ennustaminen vaatisi edellisen päivän vesimäärän lisäksi edellisen viikon vastaavan ajankohdan vesimäärän huomioon ottamista ennusteessa tai syklisten, kausivaihtelut huomioon ottavien analyysimallien hyödyntämistä. Tätä ei tämän työn puitteissa tutkittu. Lisäksi ennustamisessa hyödyllinen tieto olisi käytetyn puhtaan veden määrä.

Parempaan tarkkuuteen kuin tämän artikkelin analyysissä voi todennäköisesti päästä edistyneempiä analyysimenetelmiä käyttäen. Autoregressiiviset liikkuvaa keskiarvoa hyödyntävät menetelmät (Autoregressive Moving Average Models: ARMA ja ARIMA) tarjoavat hieman edistyneemmän tavan mallintaa ja ennustaa vesimääriä. ARMAX ja ARIMAX -mallit tarjoavat saman mahdollisuuden siten, että mukaan malliin otetaan myös ulkopuolisen muuttujan vaikutus (esim. sademäärä). SARIMAX (Seasonal ARIMAX) on malli, joka ottaa huomioon ulkopuolisen muuttujan vaikutuksen sekä kausittaisen vaihtelun aineistossa. Tällainen malli voisi olla sopiva pumppaamoille, joiden vesimäärissä on systemaattista kausittaista vaihtelua.

LÄHTEET

Adams, B. J., & Papa, F. (2002). Analytical probabilistic modeling of urban drainage systems. Teoksessa: Proceedings of the Second International Conference on New Trends in Water and Environmental Engineering for Safety and Life: Eco-compatible Solutions for Aquatic Environments.

Tuominen, R. & Peterle, R. 2017. Viemäriverkoston vuotovesimäärän laskennalliset arviointimenetelmät. Teoksessa: Tuominen, R. (toim.): Esiselvitys Etelä-Savon vesihuoltolaitoksen vuotovesistä – vähähiilisuuden edistämiseksi. Mikkeli: Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu, s. 83–86.

Tuominen, R. & Vuorinen, P. 2017. Vuotovesien tutkimusmenetelmät. Teoksessa: Tuominen, R. (toim.): Esiselvitys Etelä-Savon vesihuoltolaitoksen vuotovesistä – vähähiilisuuden edistämiseksi. Mikkeli: Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu, s. 87–94.

BIOKAASUKOKEET JATKUVA-TOIMISILLA REAKTOREILLA

Tuija Ranta-Korhonen & Hanne Soininen & Tiina Saario & Heikki Särkkä

Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulussa (Xamk) biokaasuprosesseja ja niiden optimointia on tutkittu jo useiden vuosien ajan. Smart Effluents -hankkeen toteutuksen aikana optimoitiin jätevedenkäsittelyprosessia hyödyntämällä muun muassa puhdistuksen aikana syntyviä lietteitä energiantuotannossa biokaasuprosessissa. Hankkeen aikana tutkittiin erityisesti kalvobioreaktorissa (Membrane Bio Reactor, MBR) syntyvän lietteen kaasuntuotto-ominaisuuksia panoskoesarjojen sekä pilot-mittakaavan jatkuvatoimisten reaktorien avulla. MBR-lietettä sekoitettiin kokeiden aikana myös maatalouden ja yhdyskuntien sivuvirtoihin sekä tutkittiin yhteisseosten vaikutusta biokaasuprosessiin.

Smart Effluents -hankekokonaisuuden yritysyhmän muodostivat BioGTS Oy, Metsäsairila Oy, Mikkelin vesilaitos, Mipro Oy ja Aquazone Oy. Julkisen tutkimushankkeen osiota toteuttivat Kaakkois-Suomen Ammattikorkeakoulu Oy ja Lappeenrannan teknillisen yliopiston Vihreän kemian laboratorio. Hanke sai vuosina 2015–2018 rahoitusta Business Finlandin ohjelmasta Green Growth – Tie kestävään talouteen 2011–2015.

JATKUVATOIMISET PILOT-MITTAKAAVAN BIOKAASUKOKEET

Biokaasun tuottaminen anaerobisen mädätyksen avulla on tärkeä keino kierrättää erilaisia orgaanisia sivuaine- ja jätevirtoja sekä tuottaa samalla energiaa. Biokaasulaitoksen syötteinä voidaan käyttää esimerkiksi jätevesilietteitä, maatalouden lanta- ja viherjakeita sekä yhdyskuntien orgaanista jätettä. Eri syötteillä on erilaiset potentiaalit tuottaa biokaasua ja metaania. Syötteitä yhdistelemällä voidaan taata biokaasuprosessin tasaisuus ja optimoida metaanin tuotanto.

Vuosina 2015–2018 toteutetussa Smart Effluents -hankkeessa hankittiin kaksi jatkuvatoimista laboratoriomittakaavan biokaasureaktoria (kuva 1). Reaktorien tilavuus on 15 l ja niissä on jatkuva sekoitus. Reaktoreihin pystytään syöttämään mädätettävää materiaalia kannen syöttösuppilon kautta sekä poistamaan valmista mädätettä pohjaventtiilin kautta reaktorien ollessa toiminnassa. Reaktoreissa on myös jatkuvatoiminen lämpötilan, pH:n sekä tuotetun biokaasun tilavuuden mittausta.



KUVA 1. Jatkvatoimiset biokaasureaktorit (kuva Manu Eloaho).

Jatkuvatoimisten reaktorien avulla on hankkeen aikana toteutettu kaksi koesarjaa, joista toinen vuoden 2018 aikana. Tässä artikkelissa esitetään jälkimmäisen koesarjan tulokset. Koesarjan kesto oli noin puoli vuotta. Sarjan aikana tutkittiin erilaisia viipymiä (*Hydraulic Retention Time, HRT*) sekä orgaanista kuormitusta (*Organic Loading Rate, OLR*). Viipymä tarkoittaa syöttötilavuuden ja reaktoritilavuuden suhdetta laskennallisena aikana, jonka kuluessa koko reaktoritilavuus on korvautunut uudella syötteellä (Kymäläinen 2015, 74). Orgaaninen kuormitus puolestaan tarkoittaa reaktorin toimintatilavuutta kohden vuorokauden aikana syötettyä orgaanisen aineen määrää ($\text{kgVS}/\text{m}^3\text{vrk}$) (Kymäläinen 2015, 72).

KOESARJA JATKUVATOIMISILLA REAKTOREILLA

Koesarja käynnistettiin maaliskuun 2018 loppupuolella. Reaktoreiden avulla tutkittiin kahden erilaisen syöteseoksen biokaasun- ja metaanintuottoa. Reaktorissa numero 1 biokaasun raaka-aineena käytettiin MBR-lietteen ja nurmirehun seosta (MBR 50 %, nurmirehu 50 %). Reaktorissa numero 2 raaka-aineena puolestaan oli nurmirehu, jota laimennettiin vedellä (nurmirehu 50 %, vesi 50 %). Koetta aloitettaessa syötteille ei tehty pH:n säätöä tai puskurointia. Reaktorien automaattinen jatkuva sekoitus oli käynnissä koko kokeen ajan. Kokeessa syötteenä käytetty MBR-liete saatiin LUT:in pilot-kontista Mikkelistä ja nurmirehu haettiin juvalaiselta maatilalta. Reaktorien biokaasuntuotto käynnistettiin ympillä, joka saatiin märkäprosessiin perustuvalta biokaasulaitokselta. Koesarjan aikana testattiin erilaisia viipymiä ja orgaanista kuormitusta. Koetta aloitettaessa reaktoreihin ainoastaan syötettiin materiaalia, mutta kokeen oltua käynnissä noin 70 vuorokautta, aloitettiin reaktorista myös poistaa materiaalia. Tässä vaiheessa voitiin olettaa, että reaktorit toimivat omalla mädätteellään eikä käynnistyksessä käytetyllä ympillä ollut enää vaikutusta kaasun tuotantoon.

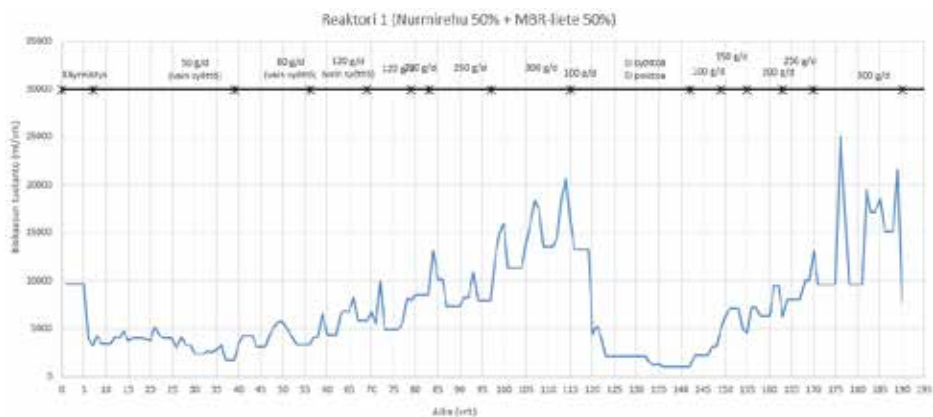
Reaktoreita ajettiin eri syötemäärillä. Alkusyötteen jälkeen, noin viikko käynnistyksen jälkeen aloitettiin reaktoreihin syöttää lisää materiaalia 50 grammaa päivässä viitenä päivänä viikossa. Seuraavissa vaiheissa syötteen määrää lisättiin ensin 80 grammaa/vuorokausi ja myöhemmin 120 grammaa/vuorokausi. Biokaasureaktori on herkkä kuormituksen muutoksille, joten syötön määrä nostettiin hitaasti 30–50 grammaa kerrallaan. Kun reaktoreissa tapahtuva mädätysprosessi oli käynnistynyt kunnolla ja reaktorien kaasuntuotto oli stabiiloinut, alettiin reaktoreista poistaa mädätettä saman verran kuin niihin lisättiin uutta syötettä. Tällöin mädätettävän materiaalin määrä reaktorissa pysyi koko ajan samana. Syötteen määrän nostamista jatkettiin edelleen noin 50 grammaa kerrallaan, kunnes syötön määrä oli 300 grammaa/vuorokausi.

Syötteen lisääminen ja mädätteen poisto reaktoreista keskeytettiin noin kolmen viikon ajaksi kesällä 2018. Tämän aikana nähtiin, selviävätkö reaktorin mikrobit tilanteessa, jossa reaktoriin ei jatkuvasti lisätä uutta syötemateriaalia ja elpyykö kaasun- ja metaanintuotanto uudelleen, kun syötteen lisäys jälleen aloitetaan. Tauon jälkeen lisätyt syötemäärät olivat aluksi 100 grammaa/vuorokausi, mutta määriä nostettiin seuraavan kuukauden aikana

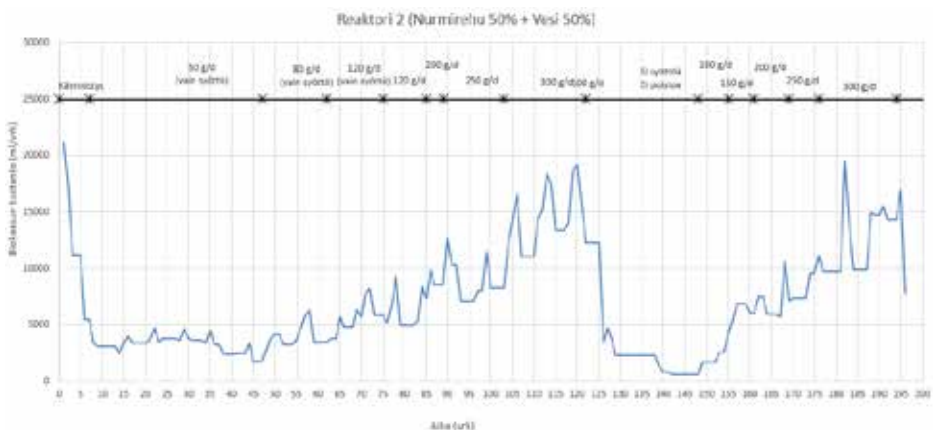
takaisin 300 grammaan vuorokaudessa. Myös mädätteen poisto reaktoreista aloitettiin uudelleen. Tutkimuksen viimeisessä vaiheessa syötteitä lisättiin vakiomäärä 300 grammaa/ vuorokausi ja mädätettä poistettiin reaktoreista saman verran.

KOESARJAN TULOKSET

Reaktorit tuottivat koesarjan aikana melko saman määrän biokaasua syötteen orgaaniseen määrään suhteutettuna. Kokeen alkuvaiheessa reaktorin numero 1 (nurmirehu/ MBR-liete 1:1) biokaasuntuotto oli 370–571 ml/gVS/d ja reaktorin numero 2 (nurmirehu/ vesi 1:1) 361–544 ml/gVS/d. Ennen koesarjassa toteutettua taukoa oli molempien reaktoreiden tuottama biokaasun määrä melkein identtinen, eli noin 350 ml/gVS/d. Reaktorin numero 1 biokaasun tuotto on esitetty kuvassa 2. Kuvassa 3 on esitetty reaktorin numero 2 biokaasun tuotto koesarjan aikana.

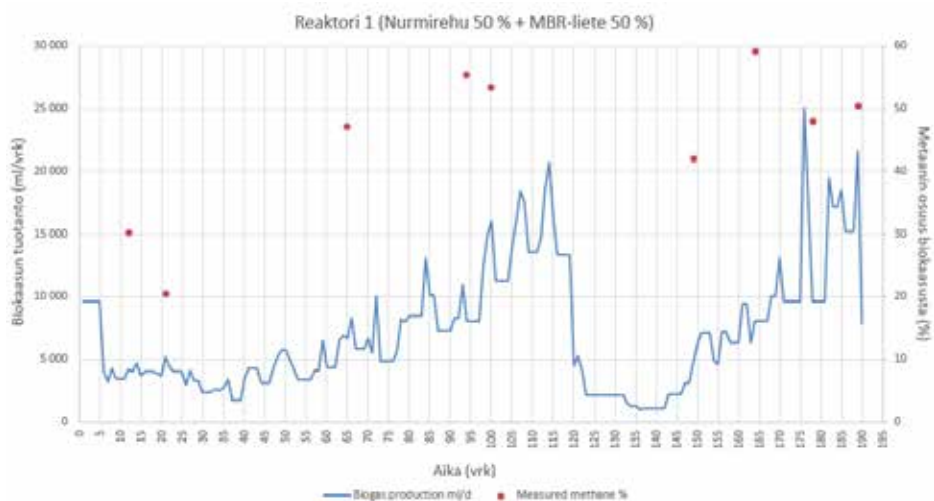


KUVA 2. Biokaasun tuotto koesarjan aikana reaktorissa numero 1.



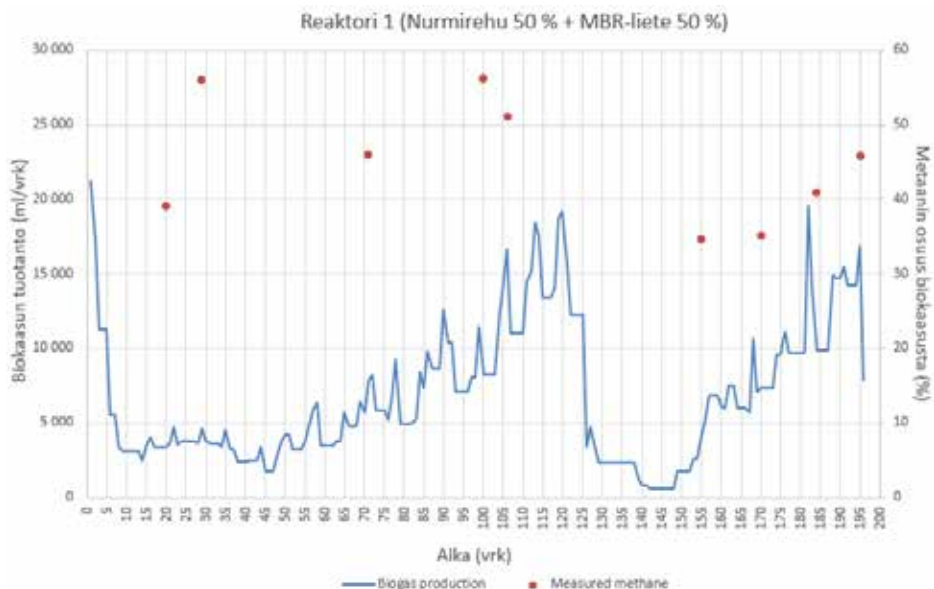
KUVA 3. Biokaasun tuotto koesarjan aikana reaktorissa numero 2.

Reaktorien tuottaman biokaasun ja sen sisältämän metaanin osuus on vaihdellut koesarjan aikana. Mikrobitoiminnan ja anaerobisen mädätyksen alkaminen reaktorissa numero 1 kesti hieman kauemmin kuin reaktorissa numero 2, mutta kokeen oltua käynnissä noin 100 vuorokauden ajan, oli metaanin osuus tuotetusta biokaasusta molemmissa reaktoreissa parhaimmillaan yli 50 %. Tauon jälkeen reaktoreiden syötön taas alettua biokaasuprosessi käynnistyi uudelleen molemmissa reaktoreissa. Reaktori numero 1 vaikutti toipuvan tauosta hieman nopeammin, sillä sen tuottaman metaanin osuus biokaasusta nousi nopeasta yli 40 % ja oli parhaimmillaan noin 60 %. Reaktorissa numero 2 metaanin osuus biokaasusta oli välittömästi tauon jälkeen 35 %, mutta myös sen tuottaman metaanin osuus nousi kokeen edetessä lähelle 50 %. Reaktorin numero 1 tuottaman biokaasun määrä (ml/ vrk) ja biokaasun ja metaanin välinen suhde on esitetty kuvassa 4.



KUVA 4. Biokaasun tuotto (ml/vrk) ja metaanin osuus biokaasusta reaktorissa numero 1.

Kuvassa 5 on esitetty reaktorin numero 2 tuottaman biokaasun määrä (ml/ vrk) ja biokaasun ja metaanin välinen suhde.



KUVA 5. Biokaasun tuotto (ml/vrk) ja metaanin osuus biokaasusta reaktorissa numero 2.

Kuvien 4 ja 5 perusteella voidaan päätellä, että MBR-liete ei ole merkittävästi heikentänyt biokaasuntuottoa, kun se on sekoitettu nurmirehuun. Nurmirehun orgaanisen aineen osuus oli 96,6–99,4 %, jolloin MBR-lietteen vaikutus jää vähäiseksi. Lisäksi kokeessa pidetyn tauon jälkeen reaktorin numero 1 biokaasun- ja metaanintuotto on toipunut nopeammin ja noussut korkeammalle kuin reaktorissa numero 2.

MBR-lietteen hyödyntämistä biokaasuprosessissa heikentää sen sisältämät mahdolliset lääkeaineet ja mikromuovit. Nämä haitta-aineet voivat haitata myös lopputuotteen eli mädätteen jatkokäyttöä. Myös jätevedenpuhdistuksessa saostuskemikaalina käytetty ferrosulfaatti heikentää biokaasuprosessin mikrobien toimintaa. Nurmirehu itsessään on niin hyvä syöte, että se kykenee kumoamaan biokaasuprosessissa MBR-lietteessä mahdollisesti olevien inhiboivien aineiden vaikutuksen, jos sen orgaanisen aineen osuus on MBR-lietettä huomattavasti korkeampi.

LÄHTEET

Kymäläinen, M. 2015. Anaerobinen hajoaminen ja sen hallinta biokaasureaktorissa. Teoksessa Kymäläinen, Maritta & Pakarinen, Outi (toim.): Biokaasuteknologia – Raaka-aineet, prosessointi ja lopputuotteiden hyödyntäminen. Suomen Biokaasuyhdistys ry/ HAMK:n e-julkaisu 36/2015.

SAKO- JA UMPIKAIVOLIETTEIDEN HYÖDYNTÄMINEN BIOKAASUN TUOTANNOSSA

Tuija Ranta-Korhonen & Hanne Soininen & Tiina Saario & Heikki Särkkä

Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulussa (Xamk) biokaasuprosesseja ja niiden optimointia on tutkittu jo useiden vuosien ajan. Smart Effluents -hankkeen toteutuksen aikana optimoitiin jätevedenkäsittelyprosessia hyödyntämällä muun muassa puhdistuksen aikana syntyviä lietteitä energiantuotannossa biokaasuprosessissa. Hankkeen aikana tutkittiin erityisesti kalvobioreaktorissa (Membrane Bio Reactor, MBR) syntyvän lietteen kaasuntuotto-ominaisuuksia panoskoesarjojen sekä pilot-mittakaavan jatkuvatoimisten reaktorien avulla (kuva 1). MBR-lietettä sekoitettiin kokeiden aikana myös maatalouden ja yhdyskuntien sivuvirtoihin, sekä tutkittiin yhteisseosten vaikutusta biokaasuprosessiin.

Smart Effluents -hankekokonaisuuden yritysyhmän muodostivat BioGTS Oy, Metsäsairila Oy, Mikkelin vesilaitos, Mipro Oy ja Aquazone Oy. Julkisen tutkimushankkeen osiota toteuttivat Kaakkois-Suomen Ammattikorkeakoulu Oy ja Lappeenrannan teknillisen yliopiston Vihreän kemian laboratorio. Hanke sai vuosina 2015–2018 rahoitusta Business Finlandin ohjelmasta Green Growth – Tie kestävään talouteen 2011–2015.



KUVA 1. Smart Effluents -hankkeessa tutkittiin yhdessä yritysten kanssa MBR-lietteiden soveltuvuutta biokaasulaitosten raaka-aineeksi (kuva Manu Eloaho).

YHDYSKUNTIEN SAKO- JA UMPIKAIVOLIETTEET

Suomessa on edelleen noin 300 000 kiinteistöä, joita ei ole liitetty kunnalliseen viemäri-verkostoon. Näissä haja-asutusalueen kiinteistöissä asuu noin miljoona ihmistä. (Ympäristöministeriö 2017, 3) Haja-asutusalueella syntyy Sitran vuonna 2007 tekemän selvityksen mukaan vuosittain noin 242 000 tonnia sako- ja umpikaivolietteitä märkäpainossa lasketuna (Sitra 2007, 4). Lietteiden keräämisestä huolehtivat yleensä yksityiset yritykset, jotka toimittavat lietteet käsiteltäviksi kunnallisiin jätevedenpuhdistamoihin. Sako- ja umpikaivolietteitä voidaan hyödyntää myös biokaasuntuotannossa prosessin syötteinä. Tällöin lietteet hyödynnetään yleensä jätevedenpuhdistamojen yhteydessä sijaitsevilla biokaasulaitoksilla, mutta myös jotkut yhteismädätyslaitokset vastaanottavat haja-asutusalueiden lietteitä. (Kymäläinen 2015, 41) Sako- ja umpikaivolietteen kiintoaineen ja orgaanisen aineen pitoisuudet ovat yleensä hyvin matalia.

MBR-tekniikka (*Membrane Bio Reactor*, MBR) on yleistymässä jätevedenpuhdistuksessa. Tekniikka yhdistää jätevesien biologisen käsittelyn ja mekaanisen suodatuksen. MBR-tekniikassa aktiivilieteprosessin läpikäynyt, ilmastusaltaassa oleva jätevesi ajetaan jälkiselkeytyksen ja hiekkasuodatuksen sijasta puoliläpäisevän kalvon (membraanin) läpi. Tekniikan etuina nykyisin käytössä olevaan tekniikkaan on se, että kalvosuodatuksen avulla kiintoaine voidaan poistaa jätevedestä täysin. Samalla jätevedestä poistuvat bakteerit sekä erilaiset vierasesineet, kuten mikromuovit. (LUT 2014) Myös MBR-lietteen kiintoainepitoisuus on erittäin matala, tyypillisesti pienempi kuin 1 %.

Smart Effluents-projektissa tutkittiin sako- ja umpikaivolietteiden toimivuutta biokaasuprosessin syötteenä panoskokeiden avulla. Lisäksi tutkittavina olivat MBR-liete kahdesta MBR-pilot-laitoksesta (LUT ja Aquazone Oy).

SAKO- JA UMPIKAIVOLIETTEIDEN BIOKAASUNTUOTTO

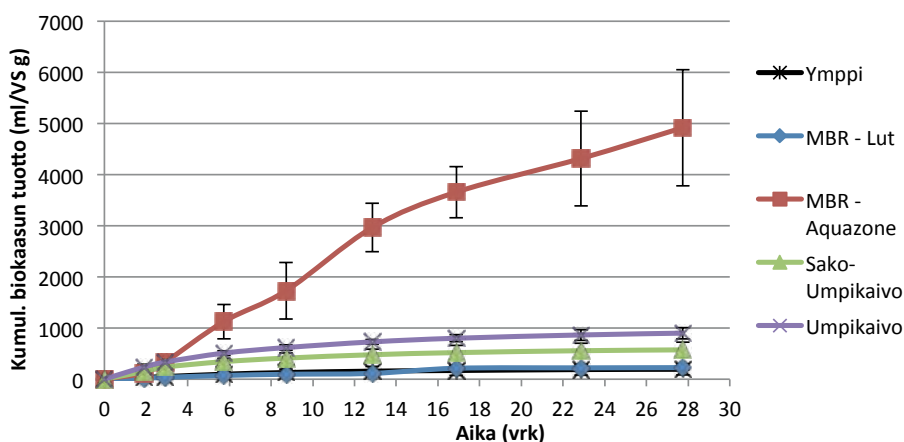
Panoskokeessa tutkittiin kahdelta pilot-laitoksesta peräisin olevan MBR-lietteen sekä sako- ja umpikaivolietteiden biokaasun- ja metaanintuottoa. Taulukossa 1 on esitetty ennen kokeiden aloitusta tehtyjen alkumäärittysten tulokset. Taulukosta voidaan havaita, että tutkitut MBR-lietteet eroavat toisistaan jonkin verran, etenkin kokonaistyyppipitoisuuden ja hiili-typpi-suhteen osalta. Huomionarvoista on myös kokeissa käytettyjen pilot-mittakaavan MBR-lietteiden äärimmäisen matala kuiva-ainepitoisuus (1 %). Biokaasun tuoton kannalta optimaalisin hiili-typpisuhde on yleensä 15–25 (Kymäläinen 2015b, 26).

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

Raaka-aine	pH	Alkali- teetti (IA/PA)	TS %	VS % (tp)	VS% %TS	Hiili- pitoisuus % (ka)	kok.N (g/kg) (ka)	C/N
Ymppi	7,7	0,35	5,8	4,4	76,2	42,3	71,5	6:1
LUT:n MBR-liete			0,3	0,1	51,4	28,6	66,1	5:1
Aquazone MBR			0,2	0,1	52,4	29,1	89,3	3:1
Seos sako- umpikaivo- liete			2,7	2,3	86,3	47,9	36,6	13:1
Umpikaivo- liete			1,6	1,5	90,6	50,3	47,2	11:1

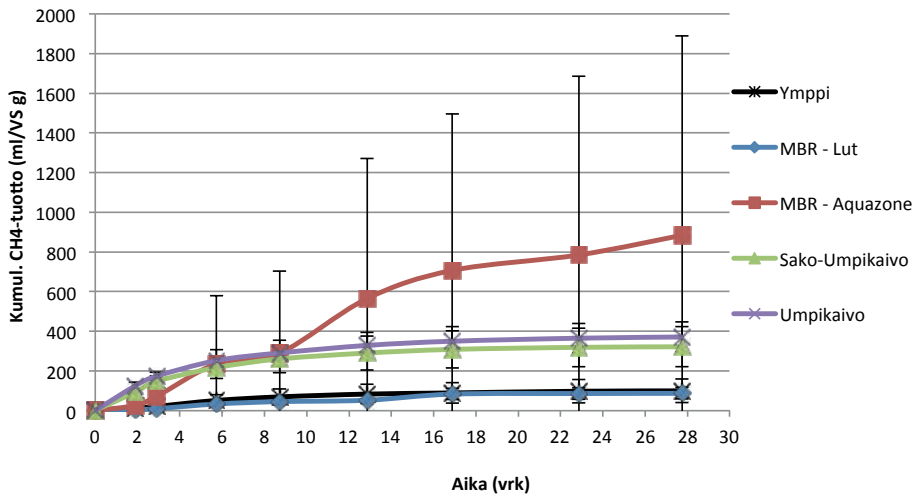
KOKEIDEN TULOKSET

Panoskokeessa tutkittujen syötteen kumulatiivinen biokaasuntuotto on esitetty kuvassa 2 tilavuusmuodossa grammoina per orgaaninen aine (ml/V_{Sg}). Kuvasta voidaan havaita, että Aquazone Oy:n MBR-lietteen kumulatiivinen biokaasuntuotto oli korkein. MBR-lietteiden välillä biokaasuntuotannossa oli selkeä ero, sillä LUT:n pilot-laitokselta peräisin oleva MBR-liete tuotti biokaasua selvästi vähemmän. MBR-lietteiden ero johtunee hieman erilaisesta prosessista ja lieteistä.

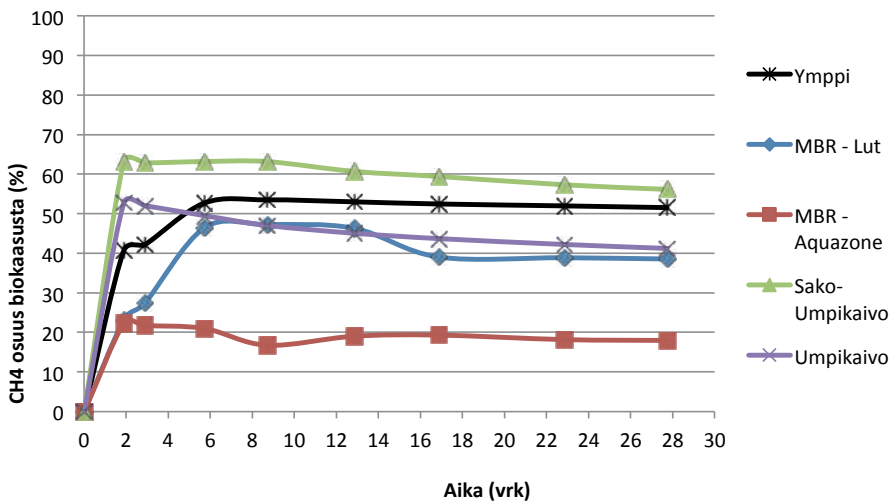


KUVA 2. Kumulatiivinen biokaasuntuotto (ml/V_{Sg}) panoskoesarjassa.

Kuvassa 3 on esitetty tutkittujen syötteiden kumulatiivinen metaanintuotto. Kuvaajaa tarkasteltaessa voidaan havaita, että Aquazone Oy:n pilot-laitokselta peräisin oleva MBR-liete tuotti kokeen syötteistä parhaiten metaania suhteessa orgaaniseen aineeseen. Tässä yhteydessä on kuitenkin huomioitava se, että MBR-lietteen kuiva-ainepitoisuus hyvin matala (noin 1 %).



KUVA 3. Kumulatiivinen metaanintuotto (ml/V5g) panoskoesarjassa.



KUVA 4. Metaanin osuus (%) biokaasusta panoskoesarjassa.

Sakokaivolietteen lisääminen umpikaivolietteeeseen tuotti heikommin metaania kuin umpikaivolieta yksin. Tässä koesarjassa tutkittujen MBR-lietteiden biokaasun- ja metaanintuottoa koskevia tuloksia ei voida pitää täysin luotettavina, sillä lietteiden sisältämän orgaanisen aineksen osuus mädätettävässä seoksessa jäi liian pieneksi verrattuna ympin sisältämään orgaanisen aineen määrään. Matala kuiva-aineen ja orgaanisen aineen pitoisuus vaikuttavat merkittävästi kaasuntuotantotuloksiin, kun ne suhteutetaan laskennallisesti orgaanisen aineksen määrään. Tällöin pienikin kaasuntuotanto näkyy tuloksissa korkeana piikkinä, mutta aiheuttaa myös merkittäviä eroja panosten välillä, mikä taas on nähtävissä virherajoissa sekä kaasuntuottopotentiaaleissa. Kokeessa tutkittujen syötteiden tuottaman metaanin osuus biokaasusta vaihteli välillä 40–70 %. Taulukossa 2 on esitetty tutkittujen syötteiden biokaasun ja metaanin tuotto orgaanista ainetonnia kohti. Tuloksista on vähennetty ympin aikaansaama biokaasun- ja metaanintuotto.

TAULUKKO 2. Syötteiden biokaasun- ja metaanintuottopotentiaalit orgaanista ainetonnia (tVS) kohden.

Panos	Biokaasu, m³ BK/tVS	Metaani, m³ CH⁴/tVS
LUT:n MBR-liete	-1905 – (-)1381	-1412 – (-)1024
Aquazonen MBR-liete	3 500–5 583	-1392–1932
Seos sako-umpikaivolieta	217–501	129–312
Umpikaivolieta	613–831	208–355
Viherrehu (kirjallisuusarvo)		300–450 ^a
Puhdistamon liete (kirjallisuusarvo)		220–430 ^b

^a Luste et al. 2013, Lehtomäki 2006.

^b Luostarinen et al. 2008, Davidson et al. 2007, Einola et al. 2001.

LÄHTEET

- Davidsson, Å., Lövestedt, C., la Cour Jansen, J., Gruvberger, C. & Aspegren, H. 2007. Co-digestion of grease trap sludge and sewage sludge. *Waste Management* 28, s. 986-992.
- Einola, J.-K., Luostarinen, S., Salminen, E. & Rintala, J. 2001. Screening for an optimal combination of municipal and industrial wastes and sludges for anaerobic co-digestion. *Proceedings of 9th World Congress on Anaerobic Digestion, Part 1.* s. 357–362.
- Kymäläinen, M. 2015. Puhdistamolietteet. Teoksessa Kymäläinen, Maritta & Pakarinen, Outi (toim.) 2015. *Biokaasuteknologia – Raaka-aineet, prosessointi ja lopputuotteiden hyödyntäminen.* Suomen Biokaasuyhdistys ry/ HAMKIn e-julkaisuja 36/2015.
- Kymäläinen, M. 2015b. Biokaasun raaka-aineet. Teoksessa Kymäläinen, Maritta & Pakarinen, Outi (toim.) 2015. *Biokaasuteknologia – Raaka-aineet, prosessointi ja lopputuotteiden hyödyntäminen.* Suomen Biokaasuyhdistys ry/ HAMKIn e-julkaisuja 36/2015.
- Lehtomäki, A. 2006. Biogas production from energy crops and crop residues. *Jyväskylä Studies in Biological and Environmental Science* 163. University of Jyväskylä, Finland.
- Luostarinen, S., Luste, S. & Sillanpää, M. 2008. Increased biogas production at wastewater treatment plants through co-digestion of sewage sludge with grease trap sludge from a meat-processing plant. *Bioresource Technology* 100, s. 79–85.
- Luste, S., Soininen, H. & Seppäläinen, S. 2013. ES BIO-hankkeen loppujulkaisu, Energiaomavarainen maatila. Etelä-Savossa saatavilla olevien orgaanisten materiaalien soveltuvuus biokaasulaitoksen raaka-aineeksi – metaanintuottopotentialit, yhteismädätys ja hygienia. Helsingin yliopiston julkaisusarja.
- LUT 2014. Kunnalliseen jätevedenpuhdistukseen uusi tekniikka käyttöön pian myös Suomessa. www.lut.fi/uutiset/asset_publisher/h33vOeufOQWn/content/. Luotu 31.10.2014.
- Sitra 2007. Lietteenkäsittelyn nykytila Suomessa ja käsittelymenetelmien kilpailukyky -selvitys. Pöyry Environment Oy. Sitran julkaisuja 2007.
- Ympäristöministeriö 2017. Haja-asutuksen jätevedet – lainsäädäntö ja käytännöt. Ympäristöopas 2017.

LÄÄKE- JA KEMIKAALIJÄÄMIEN VAIKUTUS BIOKAASUNTUOTANTOON

Tuija Ranta-Korhonen & Hanne Soininen & Tiina Saario & Heikki Särkkä

Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulussa (Xamk) biokaasuprosesseja ja niiden optimointia on tutkittu jo useiden vuosien ajan. Smart Effluents -hankkeen toteutuksen aikana optimoitiin jätevedenkäsittelyprosessia hyödyntämällä muun muassa puhdistuksen aikana syntyviä lietteitä energiantuotannossa biokaasuprosessissa. Hankkeen aikana tutkittiin erityisesti kalvobioreaktorissa (Membrane Bio Reactor, MBR) syntyvän lietteen kaasuntuotto-ominaisuuksia panoskoesarjojen sekä pilot-mittakaavan jatkuvatoimisten reaktorien avulla (kuva 1). MBR-lietettä sekoitettiin kokeiden aikana myös maatalouden ja yhdyskuntien sivuvirtoihin sekä tutkittiin yhteisseosten vaikutusta biokaasuprosessiin.

Smart Effluents -hankekokonaisuuden yritysyhmän muodostivat BioGTS Oy, Metsäsairila Oy, Mikkelin vesilaitos, Mipro Oy ja Aquazone Oy. Julkisen tutkimushankkeen osiota toteuttivat Kaakkois-Suomen Ammattikorkeakoulu Oy ja Lappeenrannan teknillisen yliopiston Vihreän kemian laboratorio. Hanke sai vuosina 2015–2018 rahoitusta Business Finlandin ohjelmasta Green Growth – Tie kestävään talouteen 2011–2015.

LÄÄKEJÄÄMÄT JA VIERASESINEET KIERTOTALOUTTA HAITTAAMASSA

Sitran vuonna 2016 julkaisemassa Kierrolla kärkeen – Suomen tiekartta kiertotalouteen 2016–2025 yhdeksi tulevaisuuden tavoitteeksi asetetaan orgaanisten kierrätysravinteiden markkinoiden luominen. Erilaisten biomassojen kasvatuksella on keskeinen merkitys biotaloudessa ja orgaanisten kierrätysravinteiden avulla voidaan varmistaa niille riittävät kasvun edellytykset. Lisäksi Sitran tiekartassa yhdeksi tulevaisuuden keskeiseksi energialähteeksi etenkin maataloudessa nostetaan biokaasu. Tavoitteeksi esitetään myös biokaasun laajemman käytön mahdollistavan jakelujärjestelmän ja siihen liittyvien ratkaisujen kehittäminen. (Sitra 2016, 15)

Sitran esittämien tavoitteiden toteuttaminen asettaa kierrätysravinteiden ja energian lähteenä toimivien sivuvirtojen, kuten esimerkiksi erilaisten lietteiden, laadulle tiettyjä vaatimuksia. Muun muassa erilaiset lääkeaineet tai vierasesineet, kuten mikromuovit, vähentävät ja pahimmillaan jopa estävät lietteiden käytön lannoitetuotteiden raaka-aineena tai biokaasulaitoksen syötteenä.

Smart Effluents -hankkeen aikana tutkittiin lääkeaineiden säilyvyyttä erilaisissa lietteissä sekä keinoja niiden poistamiseksi. Jätevesilietteen lääkeaineet vaikuttavat lietteen käytettävyyteen biokaasuprosessin syötteenä. Lisäksi tutkittiin tulevaisuudessa jäteveden puhdistuksessa yleistyvän MBR-tekniikan vaikutusta jätevesilietteen laatuun ja puhdistusprosessissa syntyvän MBR-lietteen toimivuutta biokaasulaitoksen syötteenä.

Smart Effluents -hankkeen aikana toteutettiin panoskoesarja, jossa verrailtiin MBR-lietteen ja nurmirehun käyttäytymistä kahden erilaisen ympin kanssa. Toisessa toteutetussa panoskoesarjassa tutkittiin erilaisten lääkeaineiden vaikutusta naudan lietelannan biokaasun- ja metaanintuottoon. Käytetyt lääkeaineet olivat antibiootti (amoksisilliini) sekä sorkkien ja kavioiden hoidossa käytettävä kuparisulfaatti. Lisäksi viimeisessä toteutetussa panoskoesarjassa selvitettiin MBR-lietteen vaikutusta biokaasuprosessiin sekä tutkittiin biojätteen kaasuntuottoa.

KUIVA- JA MÄRKÄPROSESSIN YMPPI

Hankkeessa toteutetussa panoskoesarjassa tutkittiin kuiva- ja märkämädätyksestä peräisin olevien ympin käyttäytymistä MBR-lietteen ja nurmirehun kanssa. Märkä- ja kuivämädätyksessä käytettävät syötteenä eroavat toisistaan. Märkämädätyksessä hyödynnetään syötettä, joiden kuiva-ainepitoisuuksien keskiarvo jää selkeästi alle 11 %:n. Kuivämädätyksessä puolestaan käytetään kiinteitä syötettä, joiden kuiva-ainepitoisuus on yleensä noin 30 % (Motiva 2013, 17). Panoskoikkeessa käytettyjen syötteen alkumääritykset on esitetty taulukossa 1.

TAULUKKO 1. Syötteen alkumääritykset (tp=tuorepaimo, ka=kuiva-aine).

Raaka-aine	pH	Alkali-teetti (IA/PA)	TS %	VS % (tp)	VS% %TS	Hiihi-pitoisuus % (ka)	kok.N (g/kg) (ka)	C/N
Ymppe (märkäreaktori)	8,1	0,35	2,5	1,0	43,0	23,9	255,7	1:1
Ymppe (kuiva-reaktori)			12,6	9,4	74,4	41,3	70,5	6:1
MBR-liete			1,0	0,6	60,1	33,4	44,4	8:1
Nurmirehu			26,9	25,2	93,6	52,0	24,0	22:1

LÄÄKEAINEIDEN VAIKUTUS BIOKAASUN- JA METAANINTUOTTOON

Toisessa panoskoesarjassa selvitettiin kahden karjanhoidossa käytettävän lääkeaineen ja kemikaalin, kuparisulfaatin ja amoksisilliinin vaikutusta naudan lietelannan biokaasun- ja metaanintuottoon. Kuparisulfaattia käytetään ehkäistäessä ja hoidettaessa karjan sork-

ka-alueen ihotulehduksia. Kemikaalia käytetään ulkoisesti, ja sen käytössä ongelmallista on, että se siirtyy lantaan ja edelleen lannan mukana peltoon ja viljeltäviin kasveihin. Lisäksi kuparisulfaatti on biokertyvää. Kuparisulfaatti on myös erittäin myrkyllistä vesieliöstölle. (Sandelin 2015, 16) Amoksisilliini puolestaan on antibiootti, jota käytetään laajasti esimerkiksi karjan nivel-tulehduksiin sekä muiden tulehdussairauksien hoitoon. Lääkkeen varoaika on neljä vuorokautta. (Itämaito 2012). Varoaikana lypsävän lehmän maitoa ei voida käyttää ihmisravintona, vaan se johdetaan usein pois ja se sekoittuu lietelantaan. Amoksisilliini ei myöskään täysin hajoa lääkittävän eläimen elimistössä, vaan sitä erittyy myös maitoon ja lantaan.

Panoskokeissa mädätettävän materiaalin sekaan lisättiin kumpaakin tutkittavaa lääkeainetta kahtena pitoisuutena (0,01 % ja 0,1 % mädätettävän materiaalin massasta). Koesarjan kesto oli neljä viikkoa. Taulukossa 2 on esitetty kokeessa käytetyt syötteen ja niiden alkumääritykset.

TAULUKKO 2. Syötteen alkumääritykset (tp=tuorepaino, ka=kuiva-aine).

Raaka-aine	pH	Alkali-teetti (IA/PA)	TS %	VS % (tp)	VS% %TS	Hiili-pitoisuus % (ka)	kok.N (g/kg) (ka)	C/N
Ympäri	7,68	0,45	5,2	3,9	75,1	41,7	75,2	6:1
Naudan liete-lanta			9,0	7,7	86,3	47,9	31,8	15:1

MBR-LIETE JA BIOJÄTE BIOKAASUPROSESSIN SYÖTEINÄ

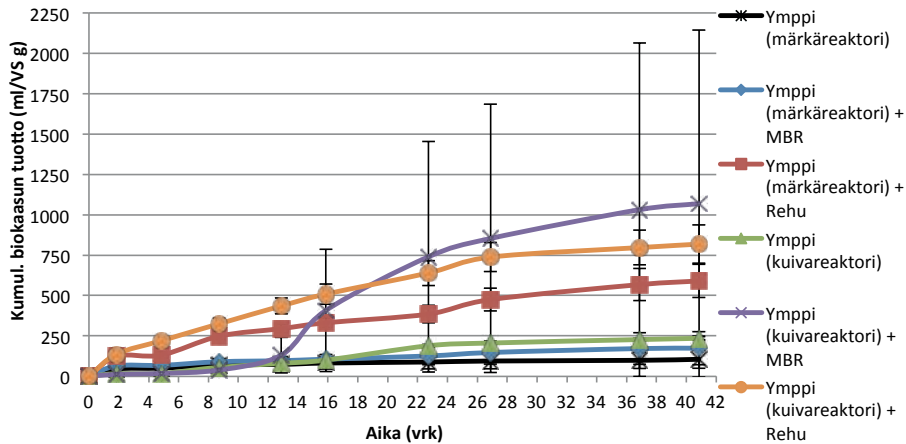
Kolmannessa panoskokeessa tutkittiin MBR-lietteen ja biojätteen kaasuntuottopotentiaaleja. Taulukossa 3 on esitetty kokeessa käytetyt syötteen ja niiden alkumääritykset.

TAULUKKO 3. Syötteen alkumääritykset (tp=tuorepaino, ka=kuiva-aine).

Raaka-aine	pH	Alkali-teetti (IA/PA)	TS %	VS % (tp)	VS% %TS	Hiili-pitoisuus % (ka)	kok.N (g/kg) (ka)	C/N
Ympäri	7,79	0,35	3,7	2,66	71,8	39,9	77,9	5:1
Naudan liete-lanta			8,9	7,41	82,8	46,0	33,3	14:1
Biojäte			29,8	22,1	74,3	41,3	18,9	22:1
MBR-liete			0,17	0,08	46,6	25,9	81,3	6:1

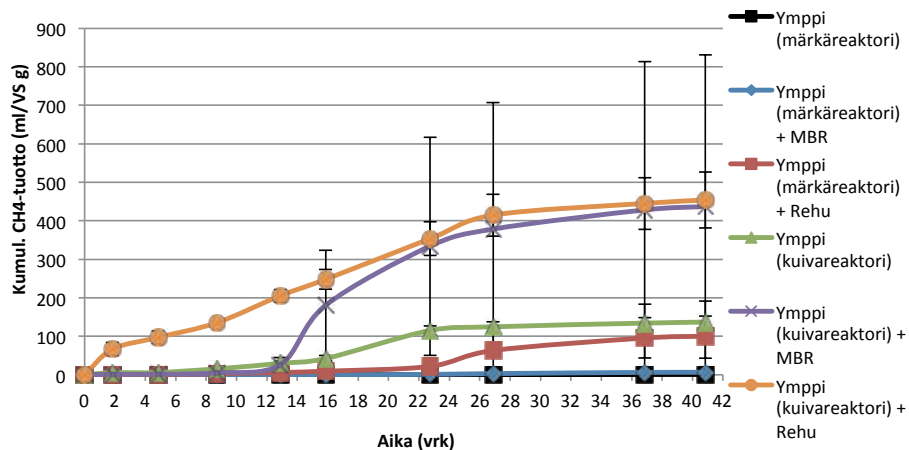
KOKEIDEN TULOKSET

Ensimmäisen panoskokeen biokaasuntuotto (ml/V_{Sg} = millilitra/gramma orgaanista ainetta) on esitetty kuvassa 1. Kuvasta voidaan havaita, että kuivämädätyksestä peräisin oleva ympppi tuotti märkämädätyksen ympppiin verrattaessa paremmin biokaasua sekä MBR-lietteen että nurmirehun kanssa.



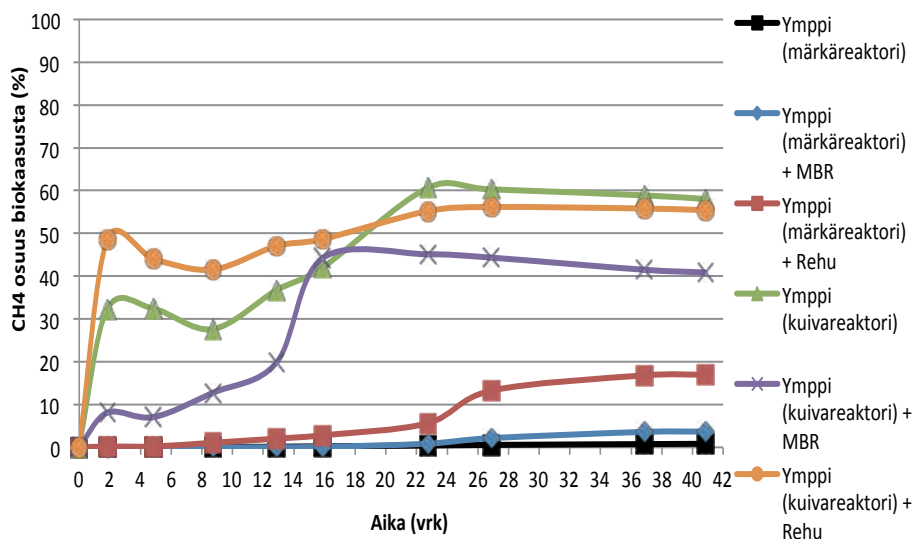
KUVA 1. Kumulatiivinen biokaasuntuotto (ml/V_{Sg}) panoskoesarjassa.

Kuvasta 2 voidaan nähdä, että myös metaanin tuotto oli kuivämädätyksen ympillä sekä yksistään että yhdessä muiden syötteiden kanssa korkeampaa kuin märkämädätyksen ympillä.



KUVA 2. Kumulatiivinen metaanintuotto (ml/V_{Sg}) panoskoesarjassa.

Kuvasta 3 voidaan havaita, että myös metaanin ja biokaasun välinen suhde, eli metaanin osuus tuotetusta biokaasusta, oli kuivamenetelmän ymppiä käytettäessä korkeampi kuin märkämädätyksen ymppiä käytettäessä.



KUVA 3. Metaanin osuus (%) biokaasusta panoskoesarjassa.

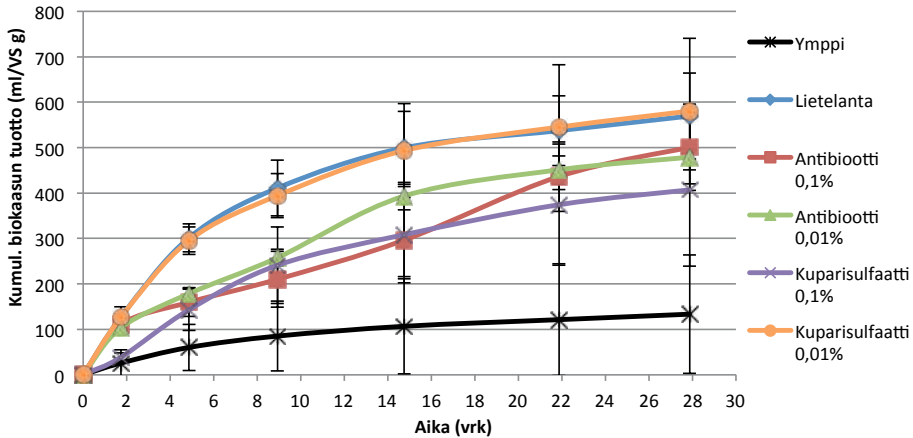
Taulukossa 4 on esitetty ensimmäisessä panoskoesarjassa tutkittujen materiaalien biokaasun- ja metaanintuottopotentiaalit orgaanista ainetonnia (*Volatile solids*, VS) kohden. Tuloksista on vähennetty käytetyn ympin biokaasun- ja metaanintuotto, jotta voidaan tarkastella itse syötteen biokaasun- ja metaanintuottopotentiaalia.

TAULUKKO 4. Määdätettyjen panosten biokaasun- ja metaanintuotto-potentiaalit orgaanista ainetonnia (tVS) kohti.

Panos	Biokaasu, m ³ BK/tVS	Metaani, m ³ CH ₄ /tVS
MBR-liete + ympäri (märkäreaktori)	-38-180	-1-11
Nurmirehu + ympäri (märkäreaktori)	373-675	43-205
MBR-liete + ympäri (kuivareaktori)	-2 238 -1 636	-1336-514
Nurmirehu + ympäri (kuivareaktori)	465-701	238-382
Viherrehu (kirjallisuusarvo)		300-450 ^a
Puhdistamon liete (kirjallisuusarvo)		220-430 ^b

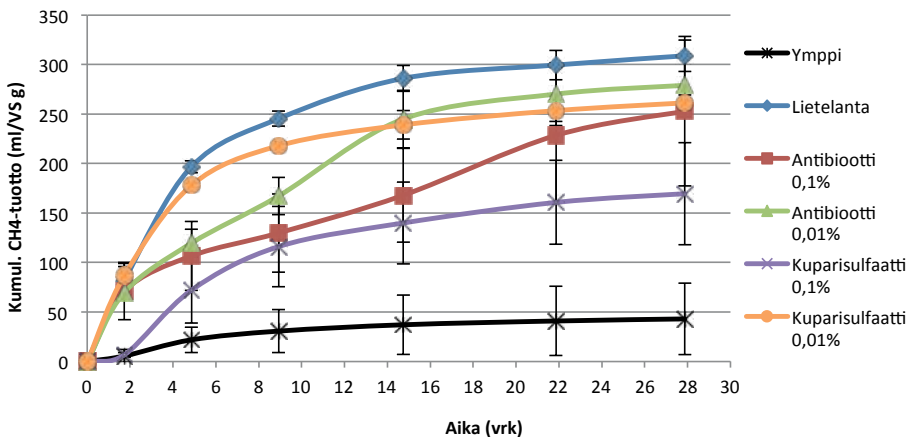
^a Luste et al. 2013, Lehtomäki 2006, ^b Luostarinen et al. 2008, Davidson et al. 2007, Einola et al. 2001.

Toisessa panoskoesarjassa tutkittiin karjanhoidossa käytettyjen lääkeaineiden vaikutusta naudan lietelannan biokaasun- ja metaanintuottopotentiaaleihin. Kuvassa 4 on esitetty kokeessa tutkittujen eri syötteiden biokaasuntuotto (ml/V_{Sg}). Odotusten mukaisesti puhdas naudan lietelanta, johon ei ollut lisätty lääkkeitä, tuotti parhaiten biokaasua. Kuparisulfaatin osalta syötteeseen lisätyllä pitoisuudella oli suurempi merkitys kuin antibiootin kohdalla.



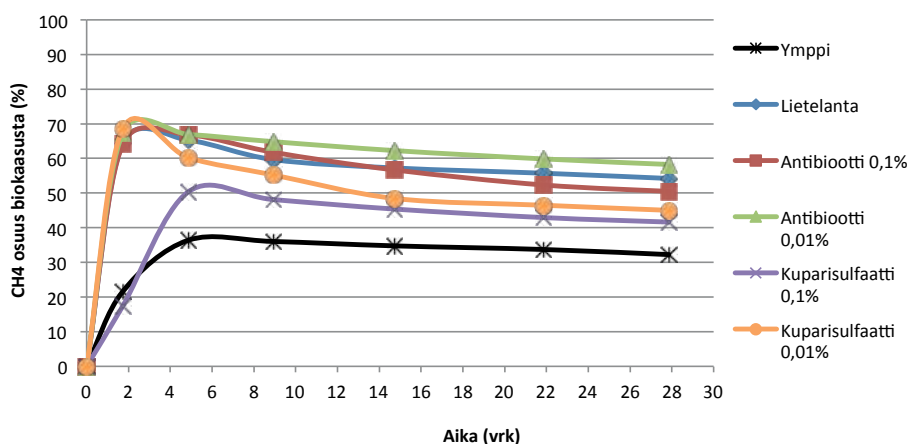
KUVA 4. Kumulatiivinen biokaasuntuotto (ml/V_{Sg}) panoskoesarjassa.

Lääkeainelisäykset vaikuttivat myös syötteiden metaanintuotantoon, kuten voidaan todeta kuvasta 5. Metaanintuotannon osalta myös lisätyn lääkeaineen pitoisuudella oli selkeä vaikutus molempien käytettyjen lääkeaineiden kohdalla.



KUVA 5. Kumulatiivinen metaanintuotto (ml/V_{Sg}) panoskoesarjassa.

Kuvassa 6 on esitetty metaanin osuus tuotetusta biokaasusta prosentteina. Kuvasta voidaan havaita, että antibioottilisäyksellä oli molempina pitoisuuksina vähemmän vaikutusta naudan lietelannan tuottaman metaanin osuuteen kuin kuparisulfaattilisäyksellä.



KUVA 6. Metaanin osuus (%) biokaasusta panoskoesarjassa.

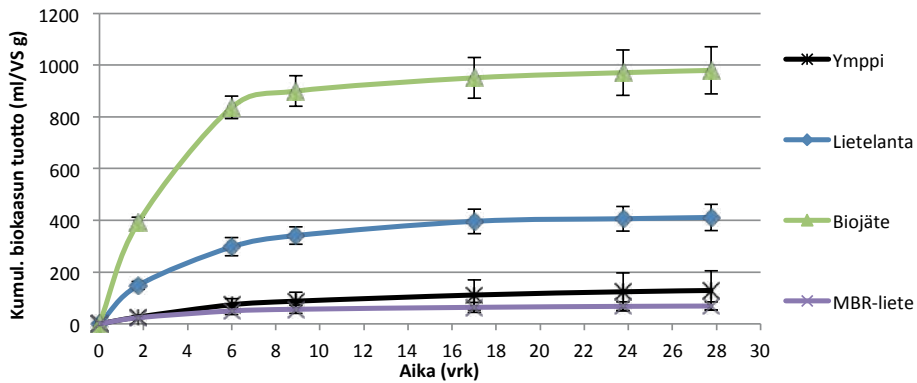
Taulukossa 5 on esitetty tutkittujen materiaalien biokaasun- ja metaanintuottopotentialit orgaanista ainetonnia kohden. Kuten edellisenkin koesarjan kohdalla, on tuloksista vähennetty käytetyn ympin biokaasun- ja metaanintuotto, jotta voidaan tarkastella itse syötteen biokaasun- ja metaanintuottopotentialia.

TAULUKKO 5. Määdätettyjen panosten biokaasun- ja metaanintuottopotentialit orgaanista ainetonnia (tVS) kohti.

Panos	Biokaasu, m ³ BK/tVS	Metaani, m ³ CH ₄ /tVS
Naudan lietelanta	342–531	251–282
Naudan lietelanta + amoksisilliini 0,1 %	304–401	130–279
Naudan lietelanta + amoksisilliini 0,01 %	316–371	186–249
Naudan lietelanta + CuSO ₄ 0,1 %	156–466	92–186
Naudan lietelanta + CuSO ₄ 0,01 %	333–561	213–224
Lehmänlanta (kirjallisuusarvo)		130–240

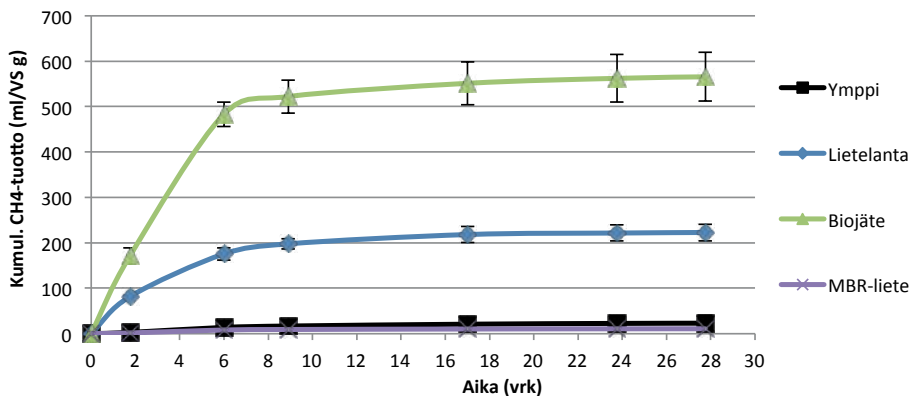
^a Luste et al. 2013, Ahring et al. 2001, Amon et al. 2006, Angelidaki & Ahring 2000, Lehtomäki et al. 2007, Mladenovska et al. 2006, Møller et al. 2004, Nielsen et al. 2004

Kolmannessa panoskoesarjassa syötteinä olivat naudan lietelanta, biojäte sekä MBR-liete. Kuvasta 7 voidaan havaita, että biojätteen kumulatiivinen biokaasuntuotto (ml/V_{Sg}) oli koesarjassa tutkituista syötteistä suurin, MBR-liete puolestaan tuotti biokaasua hyvin vähän. Pilot-laitoksen MBR-lietteen ongelmana on sen alhainen kuiva-ainepitoisuus (1 %) ja sen sisältämät mahdolliset haitta-aineet.



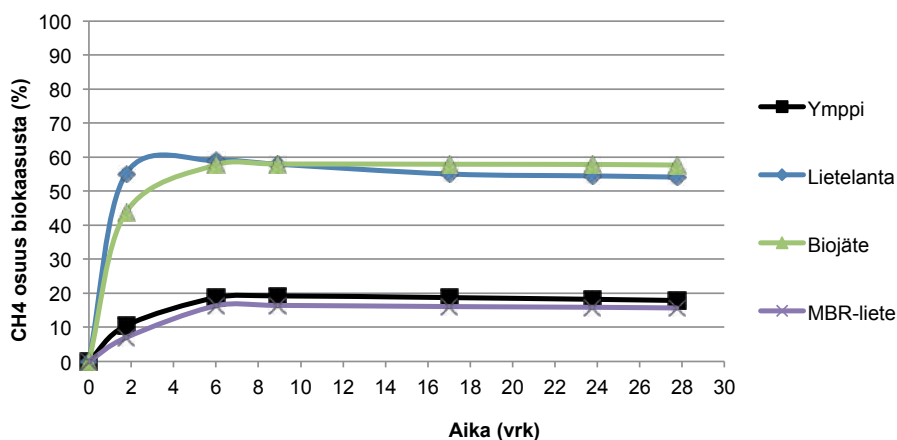
KUVA 7. Kumulatiivinen biokaasuntuotto (ml/V_{Sg}) panoskoesarjassa.

Kuvasta 8 voidaan havaita, että tutkituista syötteistä biojäte tuotti parhaiten metaania. MBR-liete vaikutti heikentävän biokaasuntuotantoa.



KUVA 8. Kumulatiivinen metaanintuotto (ml/V_{Sg}) panoskoesarjassa.

Tarkasteltaessa metaanin prosentuaalista osuutta tuotetusta biokaasusta (kuva 9) havaitaan, että lietelanta ja biojäte tuottivat metaania lähes samalla suhteella. Lietelannalla metaanin tuotanto käynnistyi hieman nopeammin kuin biojätteellä, kuten oli odotettavissakin.



KUVA 9. Metaanin osuus (%) biokaasusta panoskoesarjassa.

Taulukossa 6 on esitetty tutkittujen materiaalien biokaasun- ja metaanintuottopotentialit orgaanista ainetonnia kohden. Kuten edellisenkin koesarjan kohdalla, on tuloksista vähennetty käytetyn ympin biokaasun- ja metaanintuotto, jotta voidaan tarkastella itse syötteen biokaasun- ja metaanintuottopotentialia

TAULUKKO 6. Määdätettyjen panosten biokaasun- ja metaanintuottopotentialit orgaanista ainetonnia (tVS) kohti.

Panos	Biokaasu, m ³ BK/tVS	Metaani, m ³ CH ₄ /tVS
Lietelanta	246–319	187–213
Biojäte	748–920	449–545
MBR-liete	-3292 - (-)1625	-686 - (-)300
Lehmänlanta (kirjallisuusarvo)		130–240 ^a
Puhdistamon liete (kirjallisuusarvo)		220–430 ^b

^a Luste ym. 2013, Ahring et al. 2001, Amon et al. 2006, Angelidaki & Ahring 2000, Lehtomäki ym. 2006, Mladenovska et al. 2006, Møller et al. 2004, Nielsen et al. 2004

^b Luostarinen et al. 2008, Davidson et al. 2007, Einola et al. 2001

LÄHTEET

- Ahring, B.K., Ibrahim, A.A. & Mladenovska, Z. 2001. Effect of temperature increase from 55 to 65°C on performance and microbial population dynamics of an anaerobic reactor treating cattle manure. *Water Res.* 35(10), s. 2446–2452.
- Amon, Th, Amon, B., Kryvoruchko, V., Bodiroza, V., Pötsch, E & Zollitch, W. 2006. Optimising methane yield from anaerobic digestion of manure: Effects of dairy systems and of glycerine supplementation. *International Congress Series* 1293, s. 217–220.
- Angelidaki, I. & Ahring, BK. 2000. Methods for increasing the biogas potential from the recalcitrant organic matter contained in manure. *Water Sci Technol.* 41(3), s. 189–94.
- Davidsson, Å., Lövestedt, C., la Cour Jansen, J., Gruvberger, C. & Aspegren, H. 2007. Co-digestion of grease trap sludge and sewage sludge. *Waste Management* 28, s. 986–992.
- Einola, J.-K., Luostarinen, S., Salminen, E. & Rintala, J. 2001. Screening for an optimal combination of municipal and industrial wastes and sludges for anaerobic co-digestion. *Proceedings of 9th World Congress on Anaerobic Digestion, Part 1.* s. 357–362.
- Itämaito 2012. <https://www.itamaito.fi/tiedostot/files/Lypsylehmien%20hoitoon%20sallitut%20antibiootit.pdf>.
- Lehtomäki, A. 2006. Biogas production from energy crops and crop residues. *Jyväskylä Studies in Biological and Environmental Science* 163. University of Jyväskylä, Finland.
- Luostarinen, S., Luste, S. & Sillanpää, M. 2008. Increased biogas production at wastewater treatment plants through co-digestion of sewage sludge with grease trap sludge from a meat-processing plant. *Bioresource Technology* 100, s. 79–85.
- Luste, S., Soininen, H. & Seppäläinen, S. 2013. ES BIO-hankkeen loppujulkaisu, Energiaomavarainen maatila. Etelä-Savossa saatavilla olevien orgaanisten materiaalien soveltuvuus biokaasulaitoksen raaka-aineeksi – metaanintuottopotentiaalit, yhteismädätys ja hygienia. Helsingin yliopiston julkaisusarja.
- Mladenovska, Z., Hartmann, H., Kvist, T., Sales-Cruz, M., Gani, R. & Ahring, B. 2006. Thermal pre-treatment of the solid fraction of manure: impact on the biogas reactor performance and microbial community. *Water Science and Technology* 53, s. 59–67.
- Motiva 2013. Biokaasun tuotanto maatilalla. Motivan julkaisu 2013.

Møller, H., Sommer, S. & Ahring, B. 2002. Separation efficiency and particle size distribution in relation to manure type and storage conditions. *Bioresource Technology* 85, s. 189–196.

Sandelin, A. 2015. Suomalaisilla lypsykarjatilloilla käytettävät sorkkakylpyaineet. Eläinlääketieteen lisenssiaatin tutkielma. Helsingin yliopisto 2015.

Sitra 2016. Kierrolla kärkeen: Suomen tiekartta kiertotalouteen 2016–2025. Sitran selvityksiä 117.

HEVOSENLANNAN DEMONSTRAATIOKOKOET ETELÄ-SAVON ELINKEINOELÄMÄÄ VAHVISTAMAAN – HEVOSWATTI

Riina Tuominen & Tuomas Vanhanen & Hanne Soininen & Jarno Föhr & Tapio Ranta

HevosWatti – Hevoslannan demonstraatiokokeet Etelä-Savon elinkeinoelämää vahvistamaan -hankkeen tavoitteena oli saada tietoa hevoslannan toimivuudesta rinnakkaispolton raaka-ainevirtana elinkeinoelämän toimintaedellytyksiä parantaen. Lisäksi tavoitteena oli kerätä tietoa lannan logistiikkahuollon toimivuudesta ja mahdollisista varastointimahdollisuuksista yritysten liiketoiminnan edistämiseksi.

Hanketta toteuttivat Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulun (Xamk) Metsä, ympäristö ja energia -vahvuusala ja Lappeenrannan teknillisen yliopiston (LUT) Bioenergian laboratorio. Hanketta rahoittivat Etelä-Savon maakuntaliitto AIKO-rahoituksesta ja Suur-Savon Energiasäätiö. Hankkeen demonstraatiokokeiden toteutukseen osallistuivat yhteistyökumppaneina Suur-Savon Sähkö Oy ja Ariterm Oy.

DEMONSTRAATIOPOLTTOKOKEET HEVOSENLANNANTAPELLETEILLE

Hankkeessa toteutettiin pienen mittakaavan demonstraatiopolttokokeet Ariterm Oy:n Saarijärven tutkimuskeskuksessa. Polttokokeet tehtiin sekä turve- että kutterinpurukuiviketta sisältäville hevoslannantapelleille liikkuvassa arinakattilassa (120 kW). Polttokokeiden aikana mitattiin kolmen eri polttoaineen, eli pelkän puupelletin, hevoslannakutteri-puupellettiseoksen ja hevoslannaturve-puupellettiseoksen, polton päästöjä ja seurattiin materiaalin käyttäytymistä polttokokeiden aikana (kuva 1). Erityisesti seurattiin muodostuvan tuhkan ominaisuuksia, kuten sulamista ja sintraantumista. (Seppänen ym. 2018a)



KUVA 1. Vasemmalla puupellettien poltto, keskellä hevosenlantakutteripelletti-puupellettiseoksen poltto ja oikealla hevosenlantaturvepelletti-puupellettiseoksen poltto Ariterm Oy:n BioComp 120 -kattilassa (kuva Riina Tuominen).

Hevosenlantapellettien poltosta muodostuneet savukaasupäästöt jäivät häikäpitoisuuden osalta pienemmiksi kuin pelkän puupelletin päästöt, mutta typpi- ja hiukkaspäästöt sen sijaan olivat hieman korkeammat kuin puupelletin poltossa. Hankkeen kokeessa käytetty BioComp 120 -arinakattila osoittautui soveltuvaksi seospolttoon, ja liikkuva arinatekniikka vaikutti olevan tarkoitukseen soveltuva polttotekniikka. Polttokokeessa tehtiin lyhytkestoiset koepoltot, ja saatujen tulosten varmistaminen ja ajoparametrien optimointi vaativat koetta pitemmän polttoajan. Pitempi polttojakso selventää myös paremmin kattilan soveltuvuutta hevosenlantapohjaisten pellettien seospolttoon. (Seppänen ym. 2018a)

DEMONSTRAATIOPOLTTOKOKEET HEVOSENLANNALLE

Demonstraatiopolttokokeet toteutettiin Suur-Savon Sähkö Oy:n Juvan kaukolämpökeskuksessa. Tutkimuksessa tarkasteltiin kutterikuivike-hevosenlannan soveltuvuutta rinnakkaispolttoon. Kokeiden aikana tutkittiin polttoaineen vaikutusta savukaasujen laatuun kolmena erillisenä monitorointijaksonea. Kussakin monitorointijaksossa tarkkailtiin savukaasujen laatua 3–4 vuorokauden ajan mittaamalla savukaasu- ja hiukkaspäästöjä (kuva 2). (Seppänen ym. 2018b, Tuominen ym. 2018a)



KUVA 2. Savukaasu- ja hiukkasmittaussondit savukaasukanavassa (kuva Riina Tuominen).

Kokeiden yhteydessä tehtiin myös polttoaineen laadunseuranta ottamalla polttoainenäytteitä ja analysoimalla niistä irtotiheys, kosteus ja tuhkapitoisuus sekä kalorimetrinen lämpöarvo. Lisäksi kokeissa seurattiin myös polttoaineen määrää ja energiasisältöä, käytettävän pääpolttoaineen laatua ja hevosenlannan vaikutusta kattilan toimivuuteen.

Saaduista mittaustuloksista voitiin havaita, ettei hevosenlanta-jyrsinturveseoksen ja pelkän jyrsinturpeen polttoprosessin aikana syntyneiden savukaasujen ja hiukkapitoisuuksien

tuloksissa ollut suuria eroja. Polttokokeiden aikana polttoprosessi toimi normaalisti, ja hevosenlannan seospoltto vaikutti soveltuvilta Suur-Savon Sähkö Oy:n Juvan kaukolämpökeskukseen. Koska polttoaineen ominaisuudet ja polttotekniset ratkaisut vaikuttavat savukaasupäästöihin, on varsinkin polttoaineen kosteuspitoisuuteen ja lämpöarvoon kiinnitettävä huomiota. Seospoltossa myös polttoaineiden tasainen sekoittuminen edistää polton onnistumista ja vaikuttaa siten myös savukaasu- ja hiukkaspäästöihin. (Seppänen ym. 2018b, Tuominen ym. 2018a)

LOGISTIikka- JA POTENTIALITARKASTELUT

Kaukolämpökeskuksen demonstraatiopolttokokeen osana tehtiin myös logistiikka- ja potentiaalitarkesteluja. Logistiikkatarkesteluissa tutkittiin hevosenlannan logistiikkavaihtoehtoja ja niiden kustannuksia lyhyille kuljetusmatkoille. Logistiikkatarkesteluissa dokumentoitiin myös demonstraatiopolttokokeessa käytetyn hevosenlannan kuljetusketju, joka kulki Juvan kaukolämpökeskuksen ja kolmen paikallisen hevostallin välillä. Potentiaalitarkesteluissa tutkittiin hevostalouden yleistä kehitystä Suomessa sekä selvitettiin hevostallien ja tallien määrää Etelä-Savossa. Lisäksi potentiaalitarkesteluissa selvitettiin kuivikelannan potentiaalista saatavuutta alueellisesti koko Etelä-Savossa. Potentiaalitarkesteluissa selvitettiin myös vuodenajan vaikutusta hevosenlannan saatavuuteen hevostalleilta, ja verrattiin sen merkitystä aluelämpölaitoksien vuodenaikakohtaiseen polttoainetarpeeseen.

Logistiikkatarkesteluissa lyhyiden kuljetusmatkojen ketjuiksi valikoituivat traktori- ja siirtokonttilogistiikka niiden käyttökelpoisuuden vuoksi. Esimerkiksi HevosWatti-hankkeen demonstraatiokuljetusketjua hoidettiin traktorilogistiikalla, koska siinä oli etuna lastausmahdollisuus traktorin etukuormajalla (kuva 3). Kustannustarkkesteluissa hevosenlannan alhaisemmat kuljetuskustannukset johtuivat pääosin suuremmista kuormatilavuuksista, joten olisi kannattavaa lisätä kuormatilojen kokoja tulevaisuudessa, jos se on mahdollista. Demonstraation traktoriyhdistelmän kuljetuskapasiteetti oli melko pieni. Traktorin peräkärryn tilavuus oli 21 m³, mutta lyhyemmällä kuljetusmatkoilla, kuten alle 15 kilometrin siirtymillä, tilavuudella ei ole niin ratkaisevaa merkitystä logistiikkakustannusten kannalta. Lyhyillä kuljetusetäisyyksillä suurin merkitys on logistiikan toimivuudella, jolloin sekä lantakuorman lastauksen hevostallilla että kuorman purkamisen laitoksella on sujuttava ongelmitta. (Föhr & Ranta 2018a)



KUVA 3. HevosWatti-bankkeen demonstraatiokuljetusketju hevosenlannalle (kuva Jarno Föhr).

Potentiaalitarkasteluissa selvisi, että hevospöytä-määrä oli vakiintunut yli 70 000 hevoseen Suomessa 2010-luvun aikana. Koko maassa oli noin 16 000 hevostallia. Tarkastelujen mukaan Etelä-Savossa oli noin 3 300 hevosta vuonna 2015. Etelä-Savon suuret ja keskikokoiset hevostallit keskittyivät pääasiassa kaupunkien ja Juvan kunnan läheisyyteen maakunnassa. Tästä johtuen myös potentiaalinen hevospöytä-saatavuustiheys on suurimmillaan asutuskeskuksissa ja niiden läheisyydessä. Tämän ansiosta hevospöytä-kuljetusetäisyydet alueellisille lämpölaitoksille ovat keskimäärin lyhyitä, mikä puolestaan vähentää lantalogistiikan kustannuksia. Potentiaalitarkastelujen mukaan aluelämpölaitosten vuodenaikakohtainen polttoaineen kysyntä ja hevospöytä-tarjonta ovat keskimäärin tasapainossa Suomessa. Aluelämpölaitosten polttoainetarpeet ovat alhaisimmillaan kesällä, ja myös hevospöytä-saatavuus on alhaisimmillaan samaan aikaan. (Föhr & Ranta 2018b, Föhr & Ranta 2018c)

HEVOSPÖYTÄN LAATUOHJEISTUS

Hevospöytä-varastointiaika ja -tapa sekä ulkoiset olosuhteet vaikuttavat olennaisesti lannan laatuun ja sen poltto-ominaisuuksiin. Tutkimuksissa mitattiin hevospöytä-varastointikasojen lämpötiloja lannan kompostoitumisprosessin etenemisen selvittämiseksi. (Seppänen ym. 2018c) Polttoon toimitettavan hevospöytä-laadun takaamiseksi laadittiin laatuohjeistus Suur-Savon Sähkö Oy:n käyttöön. Ohjeistuksessa kerrotaan soveltuvista hevospöytä-kuitkemateriaaleista ja lannan oikeasta varastointitavasta. Ohjeessa kiinnitetään myös huomiota siihen, ettei lannan sekaan päätyisi mitään vierasesineitä. (Tuominen ym. 2018b)

HEVOSENLANTA ENERGIANLÄHTEENÄ

HevosWatti-hankkeen tutkimusten perusteella hevosennan seospolttoa voidaan käyttää energiantuotannossa. Hevosennan sisältämä kosteus on merkittävä tekijä polton onnistumiselle ja hevostalien, jotka toimittavat lantaa polttoon, tuleekin kehittää lannan keräämistä ja varastointia edelleen. Kosteaa lantaa saattaa aiheuttaa ongelmia erityisesti laitoksen minimiteholla petilämpötiloja ja polttoaineseoksen lämpösisältöä laskemalla, mikä voi johtaa epätasaiseen polttoon ja lisätä häikäpitoisuutta palokaasuissa.

Hankkeen aikana toteutettu hevosennan kuljetus, käsittely ja poltto onnistuivat hyvin. Kokeiden perusteella hevosennan soveltuu energiantuotantolaitosten seospolton raaka-aineksi. Käytännön kokeilujen kautta saatiin myös uutta tietoa lannan logistiikkahuollon toimivuudesta. Hankkeen tuloksia voidaan hyödyntää sekä alueellisesti että kansallisesti.

Hevosennanpellettien poltto onnistui hankkeen kokeessa, mutta lisätutkimus materiaalin käyttäytymisestä pellettikattilassa on tarpeen. Pellettipolton osalta lannan käsittelykustannukset poltettavaan muotoon saattavat vähentää kiinnostusta sen hyödyntämiseen.

HevosWatti-hankkeen aikana Etelä-Savon alueen maaseudulle syntyi lisämahdollisuuksia kuljetusalan osa-aikatyölle. Lannan polton jatkuessa energiantuotantolaitoksella tarvitaan paikallista osa-aikatyötä lantalogistiikan hoitamiseen, jolloin sitä voivat hoitaa esimerkiksi urakointi- tai maaseutuyrittäjät. Soveltuvimmat lannankuljetusyrittäjät ovat kausiluonteista työtä tekevät urakointi- ja lumityöntekijät tai muut maaseutuyrittäjät, joilla on olemassa olevaa kuljetuskalustoa, joilla voi hoitaa lantalogistiikan hevostalleilta lämpölaitokselle. HevosWatti-hankkeen toimenpiteisiin ja tuloksiin voi tutustua tarkemmin hankkeen julkaisusta ”HevosWatti – Hevosennan demonstraatiokokeet Etelä-Savon elinkeinoelämää vahvistamaan”.

LÄHTEET

Föhr, J. & Ranta, T. 2018a. Hevostalous ja hevosenlannan saatavuus Etelä-Savossa. Julkaisussa: Tuominen, R. (toim.) 2018. HevosWatti – Hevosenlannan demonstraatiokokeet Etelä-Savon elinkeinoelämää vahvistamaan. Xamk Kehittää 52, Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu Oy. ISBN:978-952-344-105-7.

Föhr, J. & Ranta, T. 2018b. Hevosenlannan demonstraatiokuljetusketjun dokumentointi paikallisilta hevostalleilta Juvan kaukolämpökeskukselle. Julkaisussa: Tuominen, R. (toim.) 2018. HevosWatti – Hevosenlannan demonstraatiokokeet Etelä-Savon elinkeinoelämää vahvistamaan. Xamk Kehittää 52, Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu Oy.

Föhr, J. & Ranta, T. 2018c. Hevosenlannan vaihtoehtoiset logistiikkaketjut aluelämpölaitokselle ja niiden kustannusvertailu. Julkaisussa: Tuominen, R. (toim.) 2018. HevosWatti – Hevosenlannan demonstraatiokokeet Etelä-Savon elinkeinoelämää vahvistamaan. Xamk Kehittää 52, Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu Oy.

Seppänen, T., Tuominen, R. & Paananen, P. 2018a. Pienen mittakaavan demonstraatiokokeet Ariterm Oy:n tutkimuskeskuksessa. Julkaisussa: Tuominen, R. (toim.) 2018. HevosWatti – Hevosenlannan demonstraatiokokeet Etelä-Savon elinkeinoelämää vahvistamaan. Xamk Kehittää 52, Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu Oy.

Seppänen, T., Tuominen, R., Soininen, H., Karhu, H. & Tirkkonen H. 2018b. Polttoainelatuominaisuudet ja hevosenlannan polton vaikutus Juvan kaukolämpökeskuksen savukaasu- ja hiukkaspäästöihin. Julkaisussa: Tuominen, R. (toim.) 2018. HevosWatti – Hevosenlannan demonstraatiokokeet Etelä-Savon elinkeinoelämää vahvistamaan. Xamk Kehittää 52, Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu Oy.

Seppänen, T., Tuominen, R. & Föhr, J. 2018c. Varastointiajan vaikutus hevosenlannan laatuun. Julkaisussa: Tuominen, R. (toim.) 2018. HevosWatti – Hevosenlannan demonstraatiokokeet Etelä-Savon elinkeinoelämää vahvistamaan. Xamk Kehittää 52, Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu Oy.

Tuominen, R., Vanhanen, T., Karhu, H. & Tirkkonen H. 2018a. Demonstraatiokoe jyrsin-turvehakeseoksella ja hevosenlannalla. Julkaisussa: Tuominen, R. (toim.) 2018. HevosWatti – Hevosenlannan demonstraatiokokeet Etelä-Savon elinkeinoelämää vahvistamaan. Xamk Kehittää 52, Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu Oy.

Tuominen, R., Seppänen, T., Karhu, H. & Pylkkänen, A. 2018 b. Laatuohjeistus polttoon toimitettavalle hevosenlannalle. Julkaisussa: Tuominen, R. (toim.) 2018. HevosWatti – Hevosenlannan demonstraatiokokeet Etelä-Savon elinkeinoelämää vahvistamaan. Xamk Kehittää 52, Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu Oy.

POHJAVEDEN LAADUN MONITOROINTIA ONLINE- ANTURIEN AVULLA

Aki Mykkänen & Riina Tuominen

Etelä-Savossa pohjavesien laatu ja riittävyys ovat olleet jo vuosia tarkastelun kohteena. Puolet eteläsavolaisista saa juomavetensä vedenottamoilta, joiden pohjavesien muodostumisalueet sijaitsevat riskialueilla. Riski pohjaveden muodostumisalueilla voi johtua muun muassa aiemmin alueella sijainneesta teollisuudesta, nykyisestä yhdyskuntarakenteesta tai alueen käytöstä.

Perinteisesti pohjavettä tutkitaan ottamalla pohjaveden havaintoputkesta vesinäyte pumpulla. Pumppaus kuitenkin aiheuttaa havaintoputkessa veden sekoittumista, jolloin on vaikeaa saada tietoa muun muassa pohjaveden kerrostuneisuudesta. Tulevaisuudessa perinteinen näytteenotto voi olla mahdollista korvata kokonaan jatkuvatoimisilla online-menetelmillä, joilla tarkoitetaan pohjavesiputkeen asennettua mittausteistoa, joka lähettää reaaliaikaisia tuloksia pohjaveden laadusta.

Uudet innovatiiviset menetelmät pohjavesien laadun monitorointiin – Uumo hankkeen tavoitteena on kehittää uusia innovatiivisia pohjavesien näytteenotto- ja monitorointimenetelmiä. Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulun hanketta rahoittaa Etelä-Savon ELY-keskus Euroopan unionin aluekehitysrahastosta (EAKR 2014–2020) sekä Mikkelin Vesilaitos ja Rantasalmen kunta.

ONLINE-MENETELMÄT POHJAVEDEN LAADUN MONITOROINNISSA

Jatkuvatoiminen monitorointi nähdään potentiaalisena ja hyvin todennäköisenä korvaajana perinteiselle vesinäytteenotolle. Pohjaveden laatu voi vaihdella hyvinkin nopeasti virtauksien mukana, eikä näitä muutoksia saada 2–4 kertaa vuodessa tehtävän näytteenoton myötä esiin. Tämän takia viime vuosina on alettu tutkia jatkuvatoimisten mittalaitteiden käyttöä pohjavesien seurannassa. Tällöin pohjavesistä saataisiin reaaliaikaista dataa esimerkiksi kloridipitoisuuksista, sähkönjohtokyvystä sekä ravinnemääristä. (Tarvainen ym. 2015, 50)

Online-menetelmien avulla saadaan mahdollistettua lähes reaaliaikaiset tiedot vesialueiden tilasta, sekä esimerkiksi näytteenotosta aiheutuvat virheet ja pohjaveden häiriintymiset

saadaan minimoitua. Mittalaitteiden mittaustaajuutta saadaan myös säädettyä hyvin monipuolisesti, mikä mahdollistaa mittaukset juuri halutuin väliajoin. Tällöin ainoana mittausta rajoittavana tekijänä on laitteiston virtalähteiden kapasiteetti. Tämä on ongelma vain, jos kyseessä on akkukäyttöinen laitteisto. Laitteiston yhteydessä olevalla aurinkopaneelilla mittalaitteiden käyttöikä saadaan kasvatettua, mikä on erittäin hyödyllistä pohjavesinäytteenotossa, jossa putki voi sijaita hyvinkin kaukana verkkovirtalähteestä. Oleellisinta on löytää mittauspisteelle soveltuvin mittaustaajuus, mutta yleensä tunnin välein tapahtuva mittausta, eli 24 mittausta vuorokaudessa on riittävä väli veden muutosten havainnoimiseksi. Online-mittareita täytyy myös väliajoin huoltaa sekä kalibroida niiden mittaustarkkuuden ylläpitämiseksi. Ravinteikkaissa ja paljon eliötoimintaa sisältävissä vesissä anturit voivat likaantua jopa muutamassa päivässä, jolloin niiden antamat mittaustulokset eivät enää ole luotettavia. (Huttula ym. 2009, 10–13)

Pohjavesissä online-monitorointia käytetään nykyään pääosin pohjaveden pinnankorkeuden määrittämiseen, mutta anturiteknologian kehittymisen ja anturikoon pienentymisen myötä nykyään on myös mahdollista seurata muitakin parametreja, kuten pH-arvoa, sähkönjohtavuutta tai liuennutta happea. Pohjavesiputket ovat erityisen hyviä kohteita jatkuvatoimisille mittalaitteille, koska putki suojaa laitteita esimerkiksi vandalismita ja auringonvalolta, ja koska pohjavedet ovat yleensä hyvin viileitä ja vähäravinteisia sekä niiden vedenlaatu on hyvin tasainen ympäri vuoden. Tällöin esimerkiksi sääolosuhteet ja leväkasvustot eivät ole ongelma. (Huttula ym. 2009, 10–13)

Viranomaiselle toimitettavat ympäristömittaukset ja niitä koskevat selvitykset on tehtävä ympäristönsuojelulain mukaan pätevästi ja luotettavasti. Tämä tarkoittaa sitä, että menetelmien laatua varmennetaan vertailu- ja mittanormaallaboratoriopalveluilla, standardien mukaisten menetelmien käytöllä sekä näytteiden analysoinnilla akkreditoituissa laboratorioissa. Tietojen luotettavuus ja oikeellisuus ovat tärkeitä, koska niitä käytetään kohteessa tapahtuvien paikallisten ja ajallisten muutosten selvittämiseen ja tutkimiseen. Tietojen avulla pitäisi kyetä erottamaan luonnolliset vaihtelut ihmisen toiminnasta aiheutuneista muutoksista. Siirryttäessä uusiin näytteenotto-, analyysi- ja monitorointimenetelmiin on saatava tuloksia siis verrattava aikaisempiin, toimiviksi todettuihin menetelmiin. Tätä kautta saadaan tilastollisesti todettua tulosten vertailtavuus. (Ympäristöministeriö 2011, 19–20)

POHJAVEDEN MONITOROINTIASEMAT

Hankeessa perustettiin monitorointiasemat Mikkelin Pursialan sekä Rantasalmen Kupialan pohjavesialueille. Itse mittalaitteisto koostuu YSI EXO-1 -vedenlaatusondista sekä Keller ARC-1-lähetinyksiköstä. Näiden kahden laitteen välillä on YSI:n valmistama signaalimuunnin, joka muuntaa sondin mittaustulokset lähetyskelpoisiksi. Kuvassa 1 esitetään monitorointiaseman ulkopuolinen rakenne. Mittalaitteisto sekä pohjavesiputki ovat suojassa halkaisijaltaan 315 millimetrin rumpuputken sisällä, joka on muokattu laitteistolle sovel-

tuvaksi säänkestäväksi ja lukittavaksi koteloksi. Tämä mahdollistaa ylimääräisen kaapelin säilyttämisen kotelon sisällä sekä tulevaisuudessa laajennusten, kuten esimerkiksi lisävirtalähteiden, asentamisen. Kotelon on kaivettu pohjavesiputken metallisen suojaputken tavoin syvälle maahan, jolloin se ei liiku roudan tai ihmisen toiminnan vaikutuksesta. Kotelon päällä olevan lähettimen suojakorkin avaamalla käyttäjä saa USB-väylän kautta yhteyden sondiin ja lähettimeen.



KUVA 1. Rantasalmen Kupialan monitorointiasema (kuva Aki Mykkänen).

Pohjaveden laatua mittaava EXO-1-järjestelmä koostuu sondista ja neljästä vaihdettavasta anturipäästä. Sondi on halkaisijaltaan 47 millimetriä, eli se soveltuu käytettäväksi halkaisijaltaan vähintään 50 millimetrin pohjavesiputkiin. Hanketta varten valitut anturit ovat sähkönjohtavuus/lämpötila, pH/redox, optinen sameus sekä optinen liukoinen happi. Sondi mittaa myös syvyyttä, jonka avulla voidaan laskea pohjaveden pinnankorkeus. Sondin mittaussyvyys on käyttäjän hallittavissa pohjaveden pinnasta pohjalle asti. Tiedot siirtyvät sondilta kaapelia pitkin signaalinmuuntajan kautta maan pinnalla olevaan ARC-1-lähettimeen, joka lähettää tulokset palvelimelle mobiilidataverkon kautta. Mittaus- sekä lähetinlaitteisto ovat kuvassa 2. Lähetin myös mittaa ilman lämpötilaa sekä painetta. Palvelimelta tulokset siirtyvät pilvipohjaiseen selaimella käytettävään Kolibri-tietokantaan, jossa niitä voidaan tarkastella sekä tarvittaessa ladata.



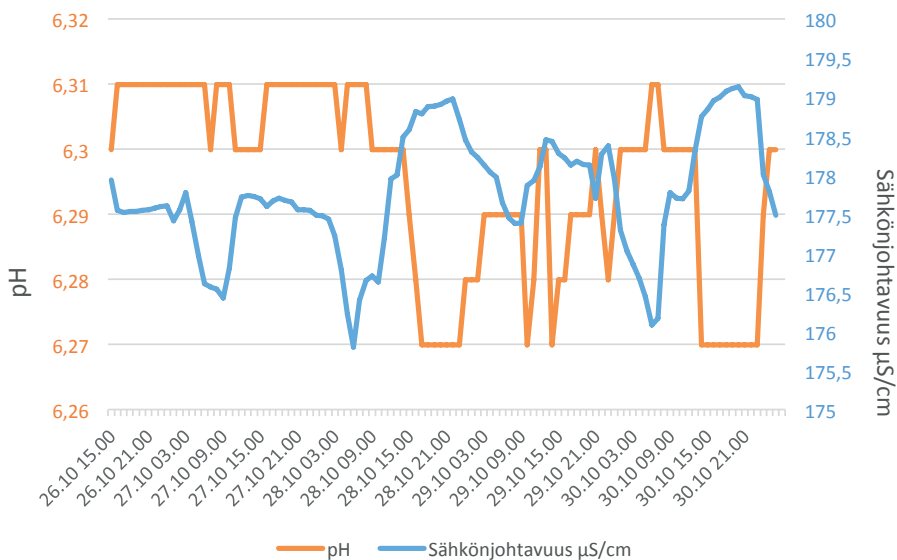
KUVA 2. Monitorointiaseman laitteisto. Ylhäällä ARC-1-lähetinyksikkö, keskellä signaalinmuuntaja sekä alimpana EXO-1-vedenlaatusondi (kuva Aki Mykkänen).

Vedenlaatusondin virtalähteenä toimii kaksi D-paristoa, joiden avulla sondi pystyy mittaamaan 24 mittausta vuorokaudessa noin 6–10 viikon ajan. Paristot ovat helposti vaihdettavissa ja niiden tilalla voidaan käyttää ladattavia NiMH-akkuja. ARC-1-lähetin toimii 3,9

voltin ja 35 ampeeritunnin akulla, jonka käyttöikä 24 mittauksella ja yhdellä lähetyksellä vuorokaudessa on valmistajan mukaan parhaimmillaan viisi vuotta. Signaalinmuuntaja saa virtansa lähettimen akusta.

MONITOROINTIASEMIEN TOIMINTA

Online-mittauksista saaduista tuloksista on selkeästi huomattavissa niiden toimivuus kenttäolojen reaaliaikaisen tilanteen kuvaamisessa, vaikka tulosten luotettavuudesta ei olla vielä varmoja. Selvää kuitenkin on, että laitteiston avulla pystytään havaitsemaan muutoksia pohjaveden tilassa. Tuloksissa on huomattu minimaalista ryömintää muun muassa pH-arvon ja sähkönjohtavuuden osalta, kuten kuvasta 3 on nähtävissä. Esimerkiksi mittauksessa elokuun lopusta lokakuun loppuun pH-tulokset ovat vaihdelleet välillä 6,16–6,36, eli vain 0,2 yksikön välillä.

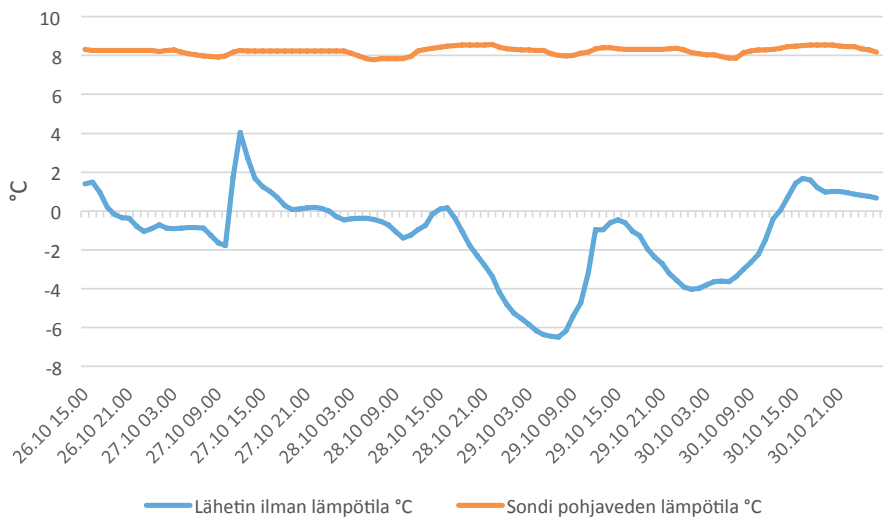


KUVA 3. Pursialan pohjavesialueen pH:n ja sähkönjohtavuuden muutokset lokakuun 2018 lopussa.

Mitattavista parametreista eniten ongelmia on ollut optisissa antureissa eli liuennon hapen antureissa ja sameusantureissa. Molempien tuloksia on vaikea todentaa, ja niiden kenttäkalibrointi on huomattavasti muita antureita vaikeampaa. Koska kyseessä on lisäksi valoon perustuva mittaussuunnitelma, ovat anturit herkkiä likaantumiselle. Vaikkakin pohjavesi on ympäristönä pintavesiin verrattuna huomattavasti stabiilimpi, syntyy antureiden pinnalle silti kerrostumia esimerkiksi pohjavedessä esiintyvistä suoloista ja metalleista, jotka voivat vaikuttaa optisten antureiden toimintaan. Näiden antureiden tulosten varmentaminen

vaatii vielä lisätutkimusta. Sameuden osalta mittaukset ovat antaneet hyvin tasaisia tuloksia koko mittausajalta, mutta tulokset vaativat aina virheenpoistoa. Sondin liikuttaminen pohjavesiputkessa esimerkiksi kalibrointien aikana sekoittaa putkessa olevan pohjaveden ja irrottaa putken reunoilta maa-ainesta veden sekaan, jolloin sameuslukemat voivat nousta jopa satakertaisiksi. Tällaisissa tapauksissa, joissa korkeiden mittaustulosten aiheuttaja tiedetään, vaativat tulokset aina käyttäjän suorittamaa jatkokäsittelyä, jonka avulla tulosten tarkkuutta parannetaan. Pohjaveden häiriinnyttyä tulisikin aina odottaa vähintään kuusi tuntia ennen mittausten käynnistämistä. Tämä mahdollistaa veden palautuminen luonnollisempaan tilaan, jolloin mittaustulokset esittävät paremmin häiriintymätöntä pohjavettä.

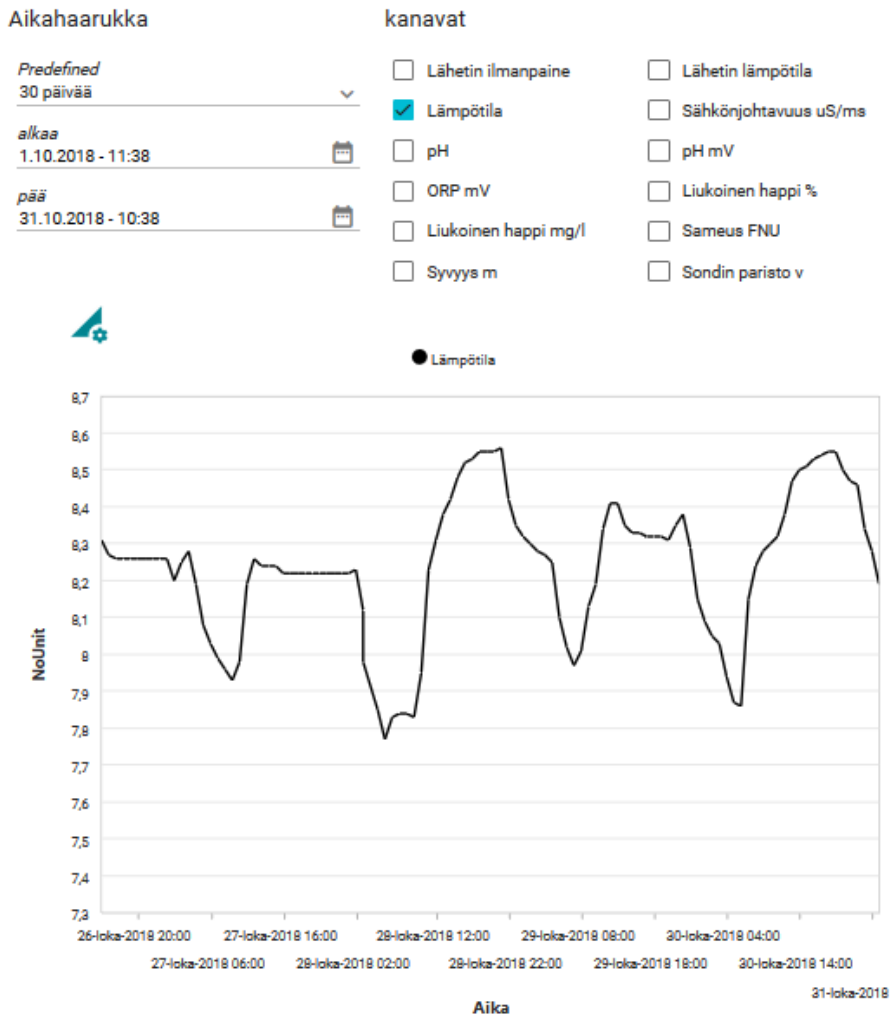
Monitorointiasemien rakenteen myötä saadaan hyödyllistä tietoa myös maan päältä. ARC-1-lähetimissä on sisäänrakennettu lämpötilamittari, jonka tulokset ovat nähtävillä pilvipalvelun kautta. Tämä mahdollistaa kuvan 4 mukaisen monitoriaseman ilman lämpötilan vertailun parantaen näin tulosten vertailtavuutta verrattuna esimerkiksi useiden, jopa kymmenien kilometrien päässä olevan sääaseman tuloksiin.



KUVA 4. Lähettimen ja sondin mittaaman lämpötilan vaihtelu viiden päivän ajalta.

Alustavien mittausten perusteella monitorointiasemien mittausväliksi valittiin yksi tunti, joten asemat mittaavat pohjaveden laatua 24 kertaa vuorokaudessa. Lähetin lähettää tulokset 12 tunnin välein, eli kaksi kertaa vuorokaudessa Kolibri-pilvipalveluun. Mittaus- ja lähetystaajuutta voidaan säätää tiheämmäksi tai harvemmaksi, mutta 24 mittausta ja kaksi lähetystä vuorokaudessa on todettu kyseisten pohjavesialueiden muutosten mittauksille soveltuviksi.

Kolibri-pilvipalvelussa käyttäjä pystyy tarkastelemaan tuloksia hyvin yksityiskohtaisesti säätämällä aikaikkunaa tai esitettäviä parametreja. Kuvassa 5 on selainnäkyvä, jossa tarkastellaan pohjaveden lämpötilan muutosta kuuden päivän ajalta. Tarvittaessa tulokset saa ladattua CSV- tai Excel-tiedostona, jolloin niitä voidaan jatkokäsitellä esimerkiksi poistamalla tiedettyjä mittausvirheitä. Koska sovellus on selainpohjainen, on sitä mahdollista käyttää millä tahansa näyttöpäätelaitteella, jossa on internetyhteys. Käyttäjä pystyy siis tarkastelemaan tuloksia vaikkapa matkapuhelimeltaan.



KUVA 5. Pilvipalvelun tulostäkyvä (kuva mukailten Kolibri-pilvipalvelua).

Laitteistolla on määrä myös testata laboratoriossa, miten yleiset pohjaveden haitta-aineet vaikuttavat mitattaviin parametreihin. Tutkimalla, miten esimerkiksi bensiini vaikuttaa sondin mittaamiin parametreihin laboratorio-oloissa, toivotaan saatavan tietoa poikkeustilanteita varten. Tämän tiedon avulla pohjavesiputkesta saatujen vedenlaadun online-tuloksien perusteella voitaisiin automatisoidusti varoittaa mahdollisesta polttoainevuodosta ja täten parantaa vedenhankinnan turvallisuutta.

JOHTOPÄÄTÖKSET

Online-mittausmenetelmillä saadaan entistä tarkemmin ja monipuolisemmin tietoa pohjavesien kemiallisesta tilasta ja siinä tapahtuvista muutoksista. Ympäristön monitorointi nykyisillä menetelmillä on aikaa vievää ja vaatii paljon työntensiivistä manuaalista näytteenottoa sekä laboratorioanalyysijä. Pohjaveden laadun selvittäminen kentällä tapahtuvasta näytteenotosta lopullisiin laboratorioanalyysiin sisältää monia työvaiheita, joiden myötä myös virheiden todennäköisyys kasvaa huomattavasti. Näytteenoton yhteydessä pohjavesi myös häiriintyy, jolloin tulos ei välttämättä edusta todellista luonnontilaista laatua.

Online-menetelmät ovat perinteisiä ympäristömittauksia kustannustehokkaampia ja lisäksi data on käytettävissä reaaliaikaisesti päätöksenteon ja varautumisen tueksi. Online-menetelmien avulla voidaan seurata vedenlaatua jatkuvatoimisesti, jolloin tuloksista voidaan havaita poikkeustiloja, jotka saattaisivat jäädä muutaman kerran vuodessa tehtävän näytteenoton myötä huomioimatta. Reaaliaikaisen ja jatkuvatoimisen havainnoinnin avulla voidaan reagoida nopeammin vedenlaadun muutoksiin ja saadaan tietoa yritysten riskinarvioinnin tueksi sekä varoaikaa vesilaitoksille.

LÄHTEET

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 ISBN 978-952-11-3490-6 (PDF).

Tarvainen, M., Kotilainen, H. & Suomela, J. 2015. Uudet menetelmät vesistöjen seurannassa – mahdollisuudet ja haasteet. ELY-keskuksen raportteja 86/2015. ISBN 978-952-314-321-0 (PDF).

Ympäristöministeriö 2011. Ympäristön tilan seurannan strategia 2020. Ympäristöministeriön raportteja 23/2011. ISBN 978-952-11-3911-6 (PDF).

BIOKAASUN TUOTANNON OPTIMOIMINEN PROSESSIN SEURANTAA KEHITTÄMÄLLÄ

Hanne Soininen & Sami Mörsky & Tuomas Vanhanen
& Lasse Pulkkinen

Tulevaisuuden biokaasuntuotantoprosessien tulee olla aiempaa kustannustehokkaampia. Prosessiin vaikuttavat tekijät tulee olla paremmin tunnistettavissa ja hallittavissa. GasOpti-hankkeen yhtenä tavoitteena on kehittää biokaasulaitosten prosesseja, monitorointia ja prosessien diagnostiikkaa tulevaisuuden kasvaviin liiketoimintaympäristön vaatimuksiin. GasOpti – Kaasujen hallinnan älykkäät sovellukset biojalostamo- ja vesiprosesseissa -hanketta rahoittaa Business Finland Euroopan aluekehitysrahastosta sekä Andritz Oy, Janesko Oy, Carbonreuse Finland Oy, Pixact Oy, Solenis Finland Oy, Metsäsairila Oy ja Juvan Bioson Oy.

YLEISTÄ BIOKAASUSTA

Biokaasua syntyy, kun orgaanista ainetta hajotetaan hapettomissa olosuhteissa bakteerien avulla. Yleensä mädättämössä tuotetusta kaasusta 40–70 % on metaania ja 30–60 % hiilidioksidia. (Suomen Biokaasuyhdistys 2016) Lisäksi biokaasussa on kosteutta ja muita kaasuja, kuten tyypeä, happea, rikkivetyä ja ammoniakkia pieniä määriä. Mädätyslaitoksen syöte vaikuttaa suoraan tuotetun biokaasun koostumukseen. (Motiva Oy 2017)

Biokaasulaitokset ovat yleistyneet Suomessa koko ajan ja liikennebiokaasun tankkausverkosto on kasvanut saatavuuden paranemisen myötä. Suomessa Gasum on alan suurin toimija ja kaasun jakelija, mutta lukumäärällisesti suurin osa laitoksista on edelleen pienempien toimijoiden hallussa. Vuonna 2017 Suomessa biokaasua käytettiin energiaksi 698,6 GWh, josta 30,2 GWh eli noin 4,3 % biokaasusta käytettiin liikennepolttoaineeksi. (Liikennebiokaasu 2018, Huttunen ym. 2018)

Vuonna 2017 Suomessa toimi yhteensä 20 biokaasulaitosta yhdyskuntien ja teollisuuden jätevedenpuhdistamojen yhteydessä. 18 laitosta toimi kiinteällä yhdyskuntajätteellä ja maatilakohtaisia yksityisiä tai yhteiskäyttölaitoksia oli 15 kappaletta. Biokaasulaitokset tuottivat 99,9 miljoonaa kuutiometriä biokaasua, josta ylijäämäpolttoon meni 8,9 miljoonaa kuutiometriä. (Huttunen ym. 2018)

BIOJALOSTAMOT ETELÄ-SAVOSSA

Etelä-Savossa toimii kaksi biokaasulaitosta ja kolmas on rakenteilla. GasOpti-hankkeessa monitoroimme ja optimoimme märkäprosessiin pohjautuvaa laitosta. Juvan Bioson Oy on keskitetty maataloustuottajien yhteinen mädätyslaitos, joka aloitti toimintansa vuoden 2011 lopulla Juvalla. Biosonin reaktori on jatkuvatoiminen märkäprosessi, jonka prosessi toimii mesofiilisissä olosuhteissa. Syötteenä käytetään pääasiassa lähialueilta saatavia lietelantaa, kananlantaa ja kasviperäisiä jättejakeita (kuva 1).



KUVA 1. Juvan Bioson Oy:n biokaasulaitos aloitti toimintansa vuonna 2011 (kuva Hanne Soininen).

Juvan Bioson Oy tuottaa biokaasusta lämpöä ja sähköä, jotka se myy naapurissa sijaitsevalle Turakkalan Puutarha Oy:lle (kuva 2). Laitoksen vahvuudet ovat sen sijainti maatilojen ja loppuasiakkaan lähellä. Laitoksen mädäte on erinomaista lannoitetta, koska se sisältää myös ravinteet syötetystä kananlannasta, jotka tekevät mädätteestä houkuttelevaa lähitaloille sekä puutarhayritykselle. Juvan Bioson Oy tukee alueellista materiaalien ja ravinteiden hyötykäyttöä ja kiertoa vähentäen päästöjä maaperään, ilmaan ja veteen.



KUVA 2. Juvan Bioson Oy:n yhdistetty sähkön ja lämmöntuotantoyksikkö Juvalla Turakkan Puutarha Oy:n yhteydessä (kuva Hanne Soininen).

Mikkeliläisessä BioHauki Oy:n kuivamädätykseen perustuvassa biokaasulaitoksessa biokaasu puhdistetaan ja jatkojalostetaan liikennepolttoaineeksi sekä lämmöntuotantoon korvaamaan maakaasua. Biosairila Oy alkoi tänä vuonna rakentamaan kuivamädätyslaitosta Mikkelissä.

BIOKAASUREAKTORIEN SEKOITUS

Mädätysprosessi vaatii tehokasta sekoitusta, jotta syöte, bakteerit ja bakteerien tuottamat entsyymit pääsevät tehokkaasti kosketuksiin keskenään. Lisäksi jatkuvatoimisissa reaktoreissa sekoitus varmistaa, ettei syöte pääse sellaisenaan läpi reaktorista ja että lämpötila jakautuu tasaisesti koko liuosfaasissa. (Mata-Alvarez 2000) Sekoittaminen vaatii kuitenkin merkittävästi energiaa, mikä voi olla jopa enemmän kuin 50 % reaktorin kokonaisenergiankulutuksesta. Tehostamalla sekoitusta voidaan suoraan kasvattaa reaktorin hyötysuhdetta. Jos reaktoria ei sekoiteta, metaanin tuotanto vähenee ja lopulta ehtyy, kun bakteeripopulaatio ei enää päädy kosketuksiin tuoreen syötteen kanssa ja päättyy reaktorin pohjalle. (Kowalczyk ym. 2013)

Märkäreaktorin sekoittamiseen vaikuttaa merkittävästi syötteen ominaisuudet, reaktorin rakenne, sekoittimen malli ja sekoitusnopeus. Jos esimerkiksi liuoksen viskositeetti kasvaa liikaa, sekoittimen moottori kuormittuu ja pahimmillaan vaurioituu ylikuumenemisen seurauksena. (Wassmer & Hungenberg 2005)

Sekoittaminen voidaan toteuttaa myös sopivalla kaasulla, joka on mädätysreaktorien tapauksessa biokaasu. Kaasun syöttö tulisi toteuttaa reaktorin pohjalta, jotta sen luoma noste ja sekoitusvaikutus pitäisi kiintoaineen dispergoituna liuoksessa. (Seysieq ym. 2003)

BIOKAASUPROSESSIN MONITOROINTI

Vaikka biokaasua on tuotettu reaktoreissa jo yli sata vuotta, prosessien optimoiminen on jäänyt vähemmälle huomiolle. Laskennallisesti moni teollinenkaan biokaasun tuotantoprosessi ei toimi optimaalisella teholla, vaan jää huomattavasti teoreettisesta tuotantotasostaan. Suurin ongelma prosessien ajamiselle on eri mittausuureiden rajallinen määrä, monen muuttujan luotettavien mittareiden puute sekä ohjausjärjestelmien puute.

Nykyisellään prosesseissa mitataan yleensä kaasun tuotantomäärä, metaanin osuus biokaasussa sekä reaktorin sisällön pH ja lämpötila. Tämän lisäksi eri laitoksilla mitataan vaihtelevasti haihtuvien rasvahappojen määrää (VFA) sekä alkaliniteettiä, mutta koska mittaukselle ei ole kustannustehokasta automaattista mittaria, niitä tehdään harvoin riittävän usein jatkuvan ohjaamisen tueksi.

Tarjolla olevat automaattiset titraattorit ovat kalliita ja niiden käyttöaste kärsii huomattavasti paljon kiintoainetta sisältävien näytteiden kohdalla, sillä suodattimia ja putkilinjoja joudutaan huoltamaan enemmän. Automaattisia titraattoreita myy muun muassa Outotec ja Metrohm.

Mädärteen alkaliniteetti on erittäin tärkeä suure seurattavaksi, koska haihtuvien rasvahappojen kerääntyminen prosessiin kertoo reaktorin kuormitusasteen muutoksista paljon nopeammin kuin prosessiliuoksen pH:n muutokset. Yleensä biokaasuprosessin pH muuttuu vasta, kun rasvahappoja on jo kertynyt merkittävästi ja prosessia on enää vaikea palauttaa normaalitilaan pienemmällä syöttömäärän muutoksilla. (Ward ym. 2008)

Biokaasun tuotanto on monivaiheinen prosessi, jonka ohjaaminen vaatii huomattavan määrän mittaustietoa, jota on haastava kerätä nykyisissä laitoksissa. Reaktorin olosuhteet asettavat myös antureille ja niiden huollolle haasteita. GasOpti-hankkeen aikana selvitetään olemassa olevien ja uusien mittausten pohjalta, mitkä parametrit ovat tärkeimmät prosessin optimoinnin kannalta.

LÄHTEET

Huttunen M. J., Kuittinen V. & Lampinen A. 2018. Suomen biokaasulaitosrekisteri nro 21. Tiedot vuodelta 2017. Publications of the University of Eastern Finland Reports and Studies in Forestry and Natural Sciences N:o 33. ISBN: 978-952-61-2857-3 (PDF).

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

Liikennebiokaasu 2018. <http://www.Liikennebiokaasu.fi>. Ladattu 12.11.2018.

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

Motiva Oy 2017. Biokaasu. <https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva-energia/bioenergia/biokaasu>. Sivü päivitetty viimeksi 17.5.2017.

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

Suomen biokaasuyhdistys ry 2016. Tietoa biokaasusta. <http://www.biokaasuyhdistys.net/tietoa-biokaasusta/>. Sivü päivitetty viimeksi 21.1.2016.

Ward A.J., Hobbs P.J., Holliman P.J. & Jones D.L. 2008. Optimisation of anaerobic digestion of agricultural resources, *Biosource Technology* 99, s. 7928-7940.

Wassmer K-H. & Hungenberg K-D. 2005. A unified model for mixing non-Newtonian fluids in the laminar, transition and turbulent region, *Macromolecular materials and engineering* Vol 290, s. 294-301.

SISÄILMAN VOC-PITOISUUDEN ANALYSOINTI – MITTAUSMENETELMIEN VERTAILU

Salla Thil & Tuija Ranta-Korhonen

Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulun toteuttamassa Online-anturitekniikan kehittäminen sisäilmaston terveyden varmistamiseen – VOC-Online -hankkeessa selvitetään eri-ikäisten ja erilaisessa käytössä olevien rakennusten sisäilman laatua ja koostumusta mittausten avulla. Mittausten ja havaintojen tulokset kootaan hankkeessa luotavaan sähköiseen tietokantaan, jota yritykset ja tutkimuslaitokset voivat jatkossa hyödyntää tuotekehityksen, suunnittelun ja saneerausten tukena. Lisäksi hankkeessa tutkitaan ja kehitetään mittaustekniikkaa palokohteiden jälkiseurantaa ja työturvallisuutta varten. Sisäilman laadun online-mittaustekniikan avulla on mahdollista seurata sisäilman laatua kokonaisvaltaisesti ja ajantasaisesti. Tällöin voidaan havaita jo ensimmäiset merkit sisäilman laadun heikkenemisestä, ja siten ehkäistä sisäilmaongelmien syntyä. Hanketta rahoittavat Etelä-Savon ELY-keskus Euroopan aluekehitysrahastosta, Järvi-Saimaan Palvelut Oy, Etelä-Savon pelastuslaitos sekä Marjatta ja Eino Kollin säätiö.

ONLINE-SEURANNAN KEHITTÄMINEN

VOC-Online-hankkeessa on kehitetty VOC-yhdisteiden online-seurantaa sisäilman laadunhallintaan. Toimenpiteessä suoritettiin vertaileva tutkimus eri tekniikoita käyttävien VOC- ja TVOC-analysilaitteiden ja -menetelmien välillä mittaamalla sisäilman haihtuvia orgaanisia yhdisteitä näytenäytteistä samanaikaisesti kaikilla valituilla menetelmillä. Saatujen tulosten perusteella arvioitiin analysointilaitteiden ja menetelmien soveltuvuutta sisäilman laadun seurantaan. Mittaukset suoritettiin kesäkuussa 2018.

Tutkimuskohteena oli Etelä-Savon ammattiopiston vuonna 2017 rakentama talo, joka on toteutettu pääosin opiskelijatyönä. Talon runkona on neljä metallirunkoisia konttia, jotka on liitetty toisiinsa. Kontteihin on lisätty eristys, sähkö- ja putkityöt sekä pintamateriaalit. Talon huoneistoala on 56 m² ja kokonaispinta-ala 68,4 m². Talossa on kahden huoneen lisäksi kodinhoituhuone, pesuhuone, sauna, wc ja tekninen tila.

Kiinteistön lämmitysmuotona on suoran sähkön lisäksi uusiutuva energia, kiertoilmataakka, ilmalämpöpumppu ja aurinkopaneelit. Aurinkopaneelit koostuvat 17 aurinkokennosta, joiden avulla talo on kesäajan omavarainen, ja tuotettu ylimääräinen energia voidaan myydä

yleiseen sähköverkkoon. Konttitalon sisäseinät ovat maalattua Gyproc-levyä ja julkisivumateriaalina on kuningaspaneeli. Katto on sileästä kattopeltistä vaö, ostettu kolmeen suuntaan oleva pulpettikatto. Pesuhuone on laatoitettu, ja saunan lauteet lämpökäsiteltyä haapaa. Sisäkaton materiaali on sisustuslevyä, ja märkätiloissa maalattua paneelia.

Tilassa tehtyjen tutkimusten aikana ilmanvaihto oli toiminnassa ja olohuone-keittiön ilmalämpöpumppu päällä. Sisäilmanäytteet otettiin rakennuksen olohuone-keittiötilasta (kuva 1).



KUVA 1. Näytteenottotila (kuva Salla Thil 2018).

Tilan sisäilmasta otettiin VOC-näytteitä rakennuksen valmistumisen jälkeen syyskuussa 2017, maaliskuussa 2018 ja toukokuussa 2018. Näytteet kerättiin Tenax TA-putkiin ISO 16000-6 -standardin mukaisesti. Syyskuussa otetussa näytteessä tilan TVOC-pitoisuus oli $290 \mu\text{g}/\text{m}^3$, maaliskuussa otetun näytteen TVOC-pitoisuus oli $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$, ja toukokuussa otetussa näytteessä pitoisuus oli $280 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (Mikrobioni 2017, Mikrobioni 2018).

KÄYTETYT TUTKIMUSMENETELMÄT

Tutkimuksessa käytettävät analysaattorit olivat kannettava GC-IMS-tekniikkaan perustuva laite, TSI Airflow, jännitteestä luettava TVOC-anturi ja Envic Oy:n GDU Multisens -anturi. Lisäksi sisäilman vertailunäyte otettiin ISO 160006 standardin mukaisesti Tenax TA -putkeen, joka analysoitiin ulkopuolisessa laboratoriossa. Analysaattorit asetettiin keittiön työtasolle vierekkäin, ja Tenax TA -putkeen otettava näyte otettiin analysaattoreiden välittömästä läheisyydestä. Mittaustilanne ja -laitteet ovat kuvattuna kuvissa 2 ja 3.



KUVA 2. Mittaustilanne ja -laitteet (kuva Salla Thil 2018).



KUVA 3. Mittaustilanne TVOC-mittareilla (kuva Salla Thil).

Kannettava GC-IMS on kaasukromatografiaa ja ioniliikkuvuuspektrometriaa yhdistävä laite haihtuvien orgaanisten yhdisteiden analysointiin (kuva 4). Tutkimuksessa sisäilmanäyte kerättiin laitteen pumpulla suoraan huoneilmasta kymmenen sekunnin ajan.



KUVA 4. Kannettava GC-IMS (kuva Salla Thil 2018).

TSI Airflow TA465-P -kuumalanka-anemometri mittaa TVOC-pitoisuuden lisäksi ilman lämpötilaa, suhteellista kosteutta ja hiilidioksidipitoisuutta. Mittarissa on PID-teknologiaa (fotoionisaatio-tunnistus) käyttävä anturi (kuva 5). TSI Airflow -mittari oli mittauksessa päällä noin yhden tunnin ajan, jolloin mittarin lukemat kirjattiin muiden mittareiden kanssa yhtäaikaisesti.



KUVA 5. TSI Airflow (kuva Salla Thil 2018).

Jännitteestä luettavan TVOC-anturin havaitsemisraja alkaa noin 400 ppm:stä ja tulos luetaan anturiin liitettävän jännitemittarin kautta (kuva 6). Anturi oli päällä mittauksessa noin yhden tunnin ajan, jolloin mittarin lukemat kirjattiin muiden mittareiden kanssa yhtäaikaisesti.



KUVA 6. TVOC-anturi ja jännitemittari (kuva Salla Thil 2018).

Envic Oy:n GDU Multisens -mittari monitoroi ilman TVOC-pitoisuutta, lämpötilaa, suhteellista kosteutta ja hiilidioksidipitoisuutta. Mittari asetettiin loggaamaan 1 minuutin välein noin yhden tunnin ajaksi, jolloin mittarin lukemat kirjattiin muiden mittareiden kanssa yhtäaikaisesti.



KUVA 7. GDU Multisens -anturi (kuva Salla Thil 2018).

Asumisterveysoppaan (2009) mukaan sisäilman haihtuvat orgaaniset yhdisteet tulisi määrittää ISO 16000-6 -standardin mukaisesti. Standardin mukaan sisäilmanäyte kerätään pumpulla Tenax TA -hartsiputkeen, ja näytteen koon tulee olla 4–15 litraa. Tässä tutkimustyössä ilmanäytteen keräysaika oli 45 minuuttia ja pumpun virtaamana 0,19279 litraa minuutissa, ja ilmanäytettä kerättiin yhteensä noin 8,7 litraa (kuva 8).



KUVA 8. Näytteenotto pumpulla Tenax TA -putkeen (kuva Salla Thil 2018).

Näyte lähetettiin ulkopuoliseen laboratorioon analysoitavaksi, jossa näyte desorboitiin termodesorptiolla ja analysoitiin käyttämällä kaasukromatografi-massaspektrometrilaitteistoa. Yhdisteet tunnistettiin retentioajan ja kirjastohaun perusteella (kirjasto NIST11), ja niiden pitoisuudet laskettiin tolueeniekvivalenttina. (Mikrobioni 2018). Näytteenottohetkellä sää oli pilvinen ja tuulta oli noin 2 m/s. Ulkoilman lämpötila oli noin 16 °C ja suhteellinen kosteus 42 % RH.

MITTAUSTEN TULOKSET

TSI Airflow -anturin ilmoittama TVOC-pitoisuus vaihteli mittausajanjaksolla välillä 50–80 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Jännitteestä luettava TVOC-mittari pysyi havaitsemisrajansa pitoisuudessa; TVOC noin 430 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. GDU Multisens-mittarin TVOC-pitoisuus vaihteli mittausajanjaksolla välillä 170–466 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, keskiarvolla 252 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. ISO 16000-6 -standardin mukaan kerätyn ilmanäytteen TVOC-pitoisuus oli 200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (Mikrobioni 2018).

Taulukossa 1 on esitetty TSI Airflow'n, jännitteestä luettavan TVOC-anturin ja GDU Multisens -mittareiden ilmoittamat lukemat ja pitoisuudet kello 14.30. Lisäksi taulukossa on GDU Multisens -mittarin lukemat keskiarvona yhden tunnin mittausajanjaksolta sekä

ISO 16000-6 - standardin mukaan määritetty TVOC-pitoisuus.

TAULUKKO 1. Mittausten tulokset

Mittari Suure	TSI Airflow (klo 14.30)	Jännitteestälueettava anturi (klo 14.30)	GDU Multisens (klo 14.30)	GDU Multisens (1 h ka)	Tenax TA -menetelmä
Lämpötila (°C)	25,5	-	25,1	24,6	-
Suhteellinen kosteus (% RH)	21,9	-	23,2	23,8	-
CO ₂ (ppm)	515	-	547	520	-
TVOC (µg/m ³)	50	<430	243	252	200 µg/m ³
Keräysaika/ loggausväli	-	-	-	1 h/1 min	45 minuuttia, näyttemäärä noin 8,7 litraa

GC-IMS-laitteella otettujen näytteiden tulkinta vaatii tarkempaa analysointia luotettavien tulosten saamiseksi. Laitteella ei määritellä ilmanäytteen TVOC-pitoisuutta, joten tulokset eivät ole vertailukelpoisia muiden käytössä olleiden laitteiden TVOC-tulosten kanssa.

JOHTOPÄÄTÖKSIÄ

Suoraan luettavien kannettavien TVOC-mittareiden tulosten luotettavuus on vielä melko kyseenalainen. Koska tässä vertailututkimuksessa käytettyjen antureiden ja menetelmien antamat tulokset perustuvat eri teknologioihin ja menetelmiin, eivät tulokset ole täysin vertailukelpoisia keskenään.

TSI Airflow -mittari ilmaisi TVOC-pitoisuudeksi mittaushetkellä muita antureita huomattavasti pienemmän pitoisuuden. Verrattuna GDU Multisens -anturin TVOC-lukemaan ja Tenax TA -putkeen otettuun näytteeseen, TSI Airflow'n ilmoittama TVOC-pitoisuus ei vastaa sisäilman todellista TVOC-pitoisuutta, eikä näin ollen sovellu sisäilman TVOC-pitoisuuden mittaamiseen.

Jännitteestä luettava TVOC-anturi sopii ilmaisemaan vain korkeita lukemia eli yli 430 µg/m³ TVOC-pitoisuuksia. Asuintiloissa kyseinen anturi käytännössä ilmaisee vain asumisterveysasetuksessa ilmoitetun TVOC-raja-arvon 400 µg/m³ ylittymisen. Anturia voidaan käyttää sisäilmatutkimuksissa sisäilman laadun selvittämisessä, mutta tarkemman TVOC-pitoisuuden ja mahdollisten yksittäisten yhdisteiden raja-arvojen ylittämisen selvittämiseksi tulee käyttää muita teknologioita tai menetelmiä.

GDU Multisens -mittarin ilmoittama TVOC-pitoisuus oli hyvin lähellä Tenax-putkeen otetun näytteen TVOC-pitoisuutta. Tuloksen perusteella GDU Multisens -mittari ilmaisee luotettavasti suuntaa antavan TVOC-pitoisuuden, ja soveltuu siten hyvin sisäilman laadun seurantaan.

TSI Airflow -mittarin ja GDU Multisens -mittarin ilmaisemat lämpötilat, suhteelliset ilmankosteudet ja hiilidioksidipitoisuudet vastasivat melko hyvin toisiaan. Näiden suureiden osalta molemmat mittarit soveltuvat sisäilman laadun monitorointiin.

LÄHTEET

Asumisterveysopas 2009. Sosiaali- ja terveysministeriön Asumisterveysohjeen (STM:n oppaita 2003:1) soveltamisopas. Ympäristö ja Terveys -lehti. ISBN 978-952-9637-38-6.

Mikrobioni 2017. Tulosraportti VC2017-117.

Mikrobioni 2018. Tulosraportit VC2018-069, IA2018-192, VC2018-103 ja VC2018-115.

BIOHIILI – UUSI KATEMATERIAALI PUUTARHOIHIN?

Niina Laurila

Katteita käytetään puutarhoissa rikkakasvien estoon ja maan kosteuden ylläpitämiseen. Valinnan varaa katemateriaaliksi riittää, sillä yleisiä katemateriaaleja ovat kankaisten materiaalien lisäksi kuori, koristekivet, koristekatteet, sora ja olki. Rautaoksiedeilla värjättyjä koristekatteita on saatavilla useita värejä kuten musta, punainen ja ruskea, ja niillä voidaan luoda puutarhoihin näyttäviä kokonaisuuksia. Näiden käsiteltyjen puulastujen värien kesto joutuu koetukselle vaihtuvissa sääoloissa. Jotta koristekate pysyy hyvännäköisenä, joudutaan sitä uusimaan ajoittain. Koristekatteen kestävämmäksi korvaajaksi on mietitty biohiiltä.

Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoululla on käynnissä ”Biohiilellä puhtaampi ympäristö ja uutta liiketoimintaa Etelä-Savoon” -hanke, jossa testataan ja kehitetään uusia biohiileen perustuvia tuotteita. Hankkeen tavoitteena on saada markkinoille uusia tuotteita ja samalla edistää biohiileen perustuvaa liiketoimintaa Etelä-Savon alueella. Bioli-hankkeessa toteutetussa demonstraatiokokeessa testattiin biohiilen käyttöä katemateriaalina. Tämä kaksivuotinen hanke käynnistyi tammikuussa 2017 ja se toteutetaan yhteistyössä Mikkelin kehitysyritys Miksei Oy:n kanssa. Bioli-hankkeen yhtenä tutkimuskohteena oli biohiilen käyttö katemateriaalina, ja sitä testattiin demonstraatiokokeissa. Hanketta rahoittaa Etelä-Savon maakuntaliitto Euroopan aluekehitysrahastosta, Suur-Savon Energiasäätiö sr ja Metsäsairila Oy.

YLEISTÄ BIOHIILESTÄ

Biohiili on lähes hapettomissa olosuhteissa orgaanisesta aineesta tuotettua huokoista hiiltä, jonka ominaisuuksiin vaikuttavat raaka-aine sekä valmistuslämpötila ja -aika. Biohiiltä voidaan käyttää lukuisissa kohteissa kuten kasvualustoissa, maaperän parantamisessa, vedenpuhdistuksessa, kompostoinnissa jne. Myös kosmetiikkateollisuus käyttää biohiiltä tuotteissaan.

Biohiilen monikäyttöisyys perustuu materiaalin huokoisuuteen, kykyyn sitoa vettä, adsorptio- ja absorptio-ominaisuuksiin sekä korkeaan kationinvaihtokykyyn. Biohiilen ominaisuuksia voidaan parantaa aktivoimalla biohiili kemiallisesti, fysikaalisesti tai biologisesti. (Suomen biohiiliyhdistys 2018) Esimerkiksi biohiilen aktivointi raudalla edistää biohiilen kykyä sitoa fosforia (Rissanen 2017).

TUOTEINNOVAATION TESTAUSTA

Biohiili katemateriaalina -demonstraatiokoe toteutettiin Mikkeli puistossa kahdessa vaiheessa vuosina 2017–2018. Mikkeli puisto on Mikkelin puistoyhdistys ry:n vuonna 2007 avaama mallipuutarha Kenkäveron ja Kaihunharjun alueella, ja siellä esitellään 30 puutarhan ja 140 yrityksen voimin puutarhoissa toteutettavia ideoita. Aiemmin alueella on toiminut Mikkelin kaupunginpuutarhan taimialue. (Mikkeli puisto 2017)

Mikkeli puiston käyttö ei ole rajattu vain puutarhapuistoon. Nykyisin puistossa on mahdollista harrastaa vaikkapa beach volleyta, salibandya ja alueella järjestetään kesäisin myös ohjattua liikuntaa. Lapsille alueelta löytyy leikkikenttiä. Jos hiki yllättää, on alueella liikkujan mahdollista käydä myös uimassa Kaihunharjulla. (Mikkeli puisto 2017) Alueella vieraillee vuosittain 60 000–70 000 kävijää (Ahdelma 2018).



KUVA 1. Demonstraatiokokeessa käytettiin kuusipohjaista 430 °C:ssa valmistettua biohiiltä (kuva Niina Laurila).

Biohiilikatetta esiteltiin kahdessa kohteessa: Kaski- ja Kierrättämällä uutta elämää -nimisessä mallipuutarhassa. Kaski on Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulun mallipuutarha, jossa Xamk ja yhteistyöyritykset esittelevät puuosaamista piha- ja puurakentamisessa. Kaskessa on esillä muun muassa hiillettyjä sydänpuusta valmistettuja ”noppakiviä” (Kilpiäinen 2018). Tässä kohteessa toteutettiin tuotevertailua mustan koristekatteen ja biohiilikatteen värin kestävyudessa. Kaski-mallipuutarhassa on useita puukehysteisiä laatikoita, joista yhteen sijoitettiin biohiilikatetta lokakuussa 2017. Vertailumateriaali oli sijoitettu kehikkoonsa juhannuksen tienoilla 2017.



KUVA 2. Vertailutuotteet Kaski-mallipuutarhassa (kuva Niina Laurila).

Tuotevertailu tehtiin kahdesti vuonna 2018. Viimeisin vertailu tehtiin lokakuussa, jolloin koristekatteen värikestävyyden arvioinnissa käytettiin Kaski-mallipuutarhassa biohiilikatteen lisäksi uutta käyttämätöntä koristekatetta. Vertailupäivänä Kaskin koristekatemateriaali oli hieman kostea ja jäinen, kun taas pussista otettu oli kuivemman oloista. Tuotteiden kosteuserosta johtuen alueella käytetty koristekate näytti tummempalta kuin käyttämätön erä tuotetta. Kuten kuvasta 3 on havaittavissa, biohiilikate on edelleen mustaa, kun taas koristekatteet ovat haaleampia. Vertailu paljastaa myös värjäyksen tason, sillä käyttämättömässä koristekaateessa on nähtävissä puulastuja, joista kuultaa läpi puun oma väri.



KUVA 3. Katemateriaalien värin vertailua 25.10.2018. Kuvassa vibreässä laatikossa vasemmalla kaupallista värjättyä tuotetta ja oikealla biohiiltä (kuva Niina Laurila).

BIOHIILIKATTEEN TESTAUSTA ISTUTUKSISSA

Biohiilikatetta testattiin istutuksissa Kierrättämällä uutta elämää mallipuutarhassa. Tämä puutarha on Mikkelin toimintakeskus ry:n, Metsäsairila Oy:n ja Destaclean Oy:n yhteinen puutarha (Mikkeli puisto 2017). Biohiilikatetta asetettiin kahteen istutusryhmään sitten, että ryhmässä käytettiin myös koristekatetta. Ensimmäisessä ryhmässä biohiilikatteella korvattiin vain osa istutusalasta, mutta toisessa istutusryhmässä korvattiin puolet pinta-alasta biohiilikatteella. Näin tuotevertailu sujui helpommin. Katemateriaalin vaihto päästiin tekemään kohteessa 19.6.2018.



KUVA 4. Lehtosalvia ja keltasara koalueella, istutusryhmä 1 (kuva Niina Laurila).

Ensimmäisessä istutusryhmässä katteita testattiin keltasaralla ja lehtosalvialla (kuva 4) ja toisessa (numero 2, kuva 5) rönsymansikalla, amppelirusokilla, kultahipulla, katajalla sekä tarhaneilikalla. Seurannassa tarkkailtiin istutusten kasvua, väriä sekä katteen toimivuutta rikkaruohojen torjunnassa.



KUVA 5. Katteen vaihto Mikkeli puistossa 19.6.2018 (kuva Niina Laurila).

TULOKSET

Ensimmäisessä istutusryhmässä käytetyt keltasarat olivat kokeen alussa pieniä. Nämä heinät kasvoivat kesän aikana hyvin, joskaan ne eivät ehtineet kasvaa samaan kokoluokkaan kuin vertailukeltasarat. Lehtosalvian kasvussa ei havaittu mitään poikkeavaa vaan kasvi näytti viihtyvän biohiilikatealueella (kuva 4).

Biohiilikatealueella olleet keltasarat oli tuotu siirtoalueelta, jonne ne oli istutettu keväällä. Näiden siirtokasvien kasvu on yleensä hitaampaa kuin ruukkutaimien. (Vuorinen 2018)



KUVA 6. Istutusryhmä 2:ssa puolet katemateriaalista oli korvattu biohiililastuilla (kuva Niina Laurila).

Myös istutusryhmässä nro 2 kaikki kasvit viihtyivät biohiilikatteessa (kuva 6). Katemateriaalialuiden välillä ei ollut havaittavissa eroa kasveissa. Huomion vahvasti Mikkelipuiston puutarhuri Johanna Vuorinen (Vuorinen 2018).

YHTEENVETO

Johtopäätöksenä voidaan todeta, että istutusalueiden kasvit viihtyivät molemmissa katteissa hyvin ja molemmat katemateriaalit ehkäisivät rikkaruohojen kasvua. Tehdyn tutkimuksen perusteella voidaan todeta, että biohiili soveltuu katemateriaaliksi. Se on luonnollista mustaa katetta, jonka väri säilyy vuodesta toiseen. Kaupallinen katetuote voi olla väritykseltään jo alussa heikkolaatuista puun oman sävyn kajastaessa haaleaksi jään mustan värjäyksen läpi.

LÄHTEET

Ahdelma, J. 2018. Mikkeli puisto etsii uutta toimitusjohtajaa. Länsi-Savo. WWW-dokumentti. Päivitetty 11.9.2018. Saatavissa: <https://lansi-savo.fi/uutiset/lahella/235c73ff-4383-4913-ba44-3f84114e8f57> [viitattu 23.10.2018].

Mikkeli puisto 2017. Tuhat ja yksi unelmaa. Puutarhapuistosta saat tuhat ja yksi ideaa omien piha- ja puutarhaunelmiesi toteutukseen - aina ilmaiseksi! Päivitetty 17.6.2017. Saatavissa: <http://www.mikkeli puisto.fi/puutarhapuisto> [viitattu 23.10.2018].

Kilpiäinen, M. 2018. Kaski kokeilee ja esittelee monipuolista puurakentamista. Read 1/2018. <http://read.xamk.fi>.

Rissanen, J., RPK Hiili Oy:n toimitusjohtaja. Puhelinkeskustelu kesä 2017.

Suomen biohiiliyhdistys 2018. Biohiili. Päivitetty 12.10.2017. Saatavissa: <http://fi.suomen-biohiili.info/maumlaumlritelmauml.html> [viitattu 24.10.2018].

Vuorinen, J. Puutarhuri. Haastattelu 29.10.2018. Mikkeli puisto.

AURINKOSÄHKÖN KÄYTÖN MAHDOLLISUUKSIA JA KANNATTAVUUTTA ETELÄ-SAVON PK-YRITYKSISSÄ

Riikka Tanskanen & Juha Korpijärvi

Etevät – Energiatohokkuuden edistäminen eteläsavolaisissa pk-yrityksissä hankkeella edistetään alueen pk-yritysten energiatohokkuutta ja pyritään tuottamaan tietoa uusiutuvien energiamuotojen käyttöönotosta ja kannattavuudesta. Etevät-hanketta (hankekoodi A72507) rahoittaa Etelä-Savon ELY-keskus Euroopan aluekehitysrahastosta, Lumme Energia Oy, Etelä-Savon Energia Oy sekä Suur-Savon Sähkö Oy.

Valtaosa Etevät-hankkeessa mukana olevista pk-yrityksistä on ollut hyvin kiinnostunut uusiutuvan energian käytön mahdollisuuksista omassa yritystoiminnassaan. Aurinkosähkö ja sen käyttömahdollisuudet nousivat selkeästi kiinnostavimmaksi uusiutuvan energian investointi- ja hyödyntämiskohteeksi kohderyhmää edustavien pilot-yritysten keskuudessa. Siitä syystä hankkeen aurinkosähköön liittyvien tarkastelujen on pyritty seuraavassa tulosten esittelyssä käsittelemään myös muita Etelä-Savon alueella toimivia pk-yrityksiä hyödyttävällä tavalla. Artikkelin yhteenvetoon on lisäksi koottu tietoa siitä, millä tavoin Etelä-Savon alueella toimivat yritykset voivat saada lisätietoa aurinkosähkön käyttöönotosta sekä investoinnin kannattavuudesta omassa toiminnassaan.



KUVA 1. Etevät-hankkeessa edistetään yritysten energiatohokkuutta (kuva Manu Eloaho 2017).

AURINKOSÄHKÖ: ALUEEN PK-YRITYKSIÄ KIINNOSTAVA UUSIUTUVAN ENERGIAN LÄHDE

Etevät-hankkeessa on mukana 14 Etelä-Savon alueella toimivaa yritystä, jotka edustavat hankkeen pilotoinnissa alueen pk-sektoria. Nämä yritykset toimivat metalliteollisuuden, puunjalostusteollisuuden, painotuotteiden, ravintola- ja majoituspalvelujen, autopalvelujen ja niihin liittyvien palvelujen, elintarviketeollisuuden ja vähittäiskaupan liiketoiminta-alueilla.

Hankkeessa selvitettiin uusiutuvien energiamuotojen käytön mahdollisuuksia ja kiinnostavuutta aluksi haastatteleamalla mukana olevien pilot-yritysten vastuu- ja yhteyshenkilöitä. Kymmenen yritystä, eli 71,4 % tutkituista yrityksistä, ilmoitti olevansa kiinnostunut aurinkosähkön hyödyntämisestä, jos siihen investoiminen olisi taloudellisesti kannattavaa. Näin ollen päätöksenteon tueksi tarvittavia takaisinmaksuaikoja selvitettiin kaikille investoinnista kiinnostuneille pilot-yrityksille. (Tanskanen & Korpijärvi 2018, 232–238) Alustavien aurinkosähkön tarkastelutulosten valossa selvitettiin lisäksi investointikattavuutta ja takaisinmaksuaikoja alkuperäistä mitoitusta hieman suuremmille aurinkosähköjärjestelmille. Tarkastelua laajennettiin, jotta esitettävillä tuloksilla pystyttäisiin antamaan kattavaa tietoa kaikille Etelä-Savon alueen pk-yrityksille.

AURINKOSÄHKÖJÄRJESTELMÄN TEHTÄVÄN INVESTOINNIN TALOUDELLISEN KANNATTAVUUDEN JA TAKAISINMAKSUAJAN LASKENTA

Etevät-hankkeessa mukana olevien pilot-yritysten aurinkosähkön käyttömahdollisuuksien selvittäminen aloitettiin tarkastelemalla yrityskohtaisia sähkönkulutuksen profiileja. Pilot-yritysten sähkönkulutuksen tarkastelussa on käytetty vuoden 2017 tuntikohtaisia kulu-
tusprofiileja, joiden perusteella on arvioitu yrityksille soveltuvien aurinkosähköjärjestelmien koko pohjakulutukseen perustuen (Motiva 2018a). Pilot-yritysten aurinkosähköjärjestelmien mitoituksessa karkeasti 80 % aurinkoenergian tuotannosta kyettäisiin käyttämään oman sähkönhankinnan korvaamiseen (8,5c/kWh) ja loput 20 % tuotannosta myytäisiin sähkönsiirtoverkkoon hinnalla 3c/kWh. Tarkasteluissa käytetyissä sähkön hinnoissa on huomioitu ainoastaan muuttuvat kustannukset.

Käyttökustannuksiksi on tässä tarkastelussa huomioitu 1,5c/kWh ja investointihinnat pohjautuvat julkisesti saatavilla oleviin hintatietoihin (Etelä-Savon Energia Oy 2018, Lumme Energia Oy). Laskentakorkokantana käytettiin 3 % ja teknisenä tarkasteluaikana 20 vuotta. Vuotuista sähköntuotannon noin 1 % suuruista alenemaa ei huomioitu tarkastelussa. Huipun-
käyttöaikana käytettiin 800–900 tuntia. Tässä tarkastelussa kannattavan takaisinmaksuajan rajana on pidetty 10 vuotta. Kannattavuuslaskelmissa on lisäksi huomioitu pk-yrityksille tarjottava energiatuki, joka on aurinkosähkön käyttöönottoon investoitaessa 25 % (Business Finland 2018). Yhtenä reunaehtona harkinnanvaraisesti myönnettävän tuen myöntämiselle on, että investoinnin suuruuden tulee olla vähintään 10 000 euroa (Business Finland 2018).

AURINKOSÄHKÖN KANNATTAVUUDEN TULOKSET ETEVÄT-HANKKEESSA

Kannattavuustarkastelun tulokset ovat taulukossa 1, ja niiden perusteella aurinkosähköjärjestelmän tulisi olla vähintään 10 kWp kokoinen, jotta aurinkosähköön investoiminen olisi taloudellisesti kannattavaa (Tanskanen & Korpjärvi 2018, 232–238). Tehdyssä tarkastelussa aurinkojärjestelmän kannattavuuteen vaikutti suoraan aurinkosähkön 25 % energiatuki, johon vaaditaan yllämainitusti vähintään 10 000 euron suuruinen investointi. Alle 10 000 euron suuruiset investoinnit, eli pienimmät aurinkosähkön järjestelmät eivät osoittautuneet kannattaviksi 10 vuoden takaisinmaksuajan puitteissa.

TAULUKKO 1. Aurinkoenergian kannattavuuslaskelman tulokset keskiarvoina. Sähkön vuotuisena hinnannousuna on käytetty 4 %, investoinnin suuruus on ilmoitettu ilman mahdollista energiatukea, mutta takaisinmaksuajassa energiatuen määrä on huomioitu.

Yritysten lukumäärä tarkastelu-ryhmässä	Aurinkosähköjärjestelmän kokoluokka	Tuotto 1. vuosi (ka)	Investoinnin suuruus (ka)	Tuotannon arvo 1. vuosi (ka)	Investoinnin sisäinen tuotto (ka)	Takaisinmaksuaika (ka)
Ryhmä 1 (2 yritystä)	2000–3300 Wp	2 430 kWh	4 536 €	267 €	5 %	14 vuotta
Ryhmä 2 (2 yritystä)	3400–7600 Wp	5 832 kWh	8 260 €	641 €	8 %	11 vuotta
Ryhmä 3 (3 yritystä)	7700–11000 Wp	9 720 kWh	11 489 €	1 069 €	15 %	8 vuotta
Ryhmä 4 (3 yritystä)	>12 000 Wp	51 840 kWh	61 277 €	5 848 €	15 %	7 vuotta

Aurinkosähköjärjestelmien koot olivat keskimäärin 2 kWp:n ja yli 12 kWp:n välillä, ja investointien suuruudet olivat 4536 ja 61277 euron välillä. Lisäksi tarkasteltujen aurinkosähköjärjestelmien keskimääräinen takaisinmaksuaika oli 7 ja 14 vuoden välillä. Etevät-hankkeessa aurinkosähkön käyttömahdollisuuksista kiinnostuneesta kymmenestä yrityksestä toteutetun kannattavuustarkastelun perusteella 6 voisi investoida aurinkosähköön taloudellisesti kannattavalla tavalla. Toisin sanoen 60 % kiinnostuneista yrityksistä voisi investoida aurinkosähköjärjestelmään kannattavasti 10 vuoden takaisinmaksuajan puitteissa. Lisäksi tarkastelussa selvisi, että taloudellisesti kannattaviksi todetuilla aurinkosähköjärjestelmillä voitaisiin korvata noin 6 % yritysten nykyisestä sähkönkulutuksesta. (Tanskanen & Korpjärvi 2018, 232–238)

KANNATTAVUUDEN LISÄTARKASTELU PIENEMPIEN AURINKOSÄHKÖJÄRJESTELMIEN OSALTA

Taulukossa 1 esitettyjen tulosten valossa tarkasteltiin edelleen, voisivatko kannattavuustarkastelussa heikommin menestyneet yritykset investoimaan 10 kW_p:n suuruisiin aurinkosähköjärjestelmiin. Tarkastelu tehtiin, sillä 10 kW_p:n suuruiseen aurinkosähköjärjestelmään voi saada energiatukea, ja investoinnin kannattavuus paranisi siten merkittävästi. Tällöin aurinkosähkön kannattavuustarkastelussa oleellisia kysymyksiä ovat: paljonko aurinkopaneelien tuotolla voidaan korvata sähkön hankintaa ulkopuoliselta toimittajalta ja paljonko sähköä jää myytäväksi ulkopuoliseen verkkoon. Ulkopuoliselta tulevan sähkön korvaava tuotanto voidaan arvostaa tilannekohtaisesti 8–10 c/kWh arvoiseksi, kun taas ulkopuoliseen verkkoon myytävä sähkö on arvoltaan vain noin 3 c/kWh.

Oman käytön ja ulkopuoliselle myytävän energiamäärän suhteen arvioimiseksi tulee tuntea aurinkosähkön tuntikohtainen tuottokäyrä sekä sähkönkulutuksen tuntikohtainen profiili. Näiden erotuksen perusteella saadaan laskettua aurinkovoimalan tuotannon ylijäämä. Tämä ylijäämä jää toimitettavaksi ulkopuoliseen verkkoon alhaisella sähkön raakaenergian hinnalla (systeemihinnalla). Koska sähkön toimittajilla on tiedossaan asiakkaidensa tuntikohtainen kulutusjakauma, on ainoa ongelma auringon tuottokäyrän arvioiminen laskennallisesti.

Kyseinen ongelma ratkaistiin Etevät-hankkeessa kehittämällä laskentapohja, jonka toiminta perustuu auringon säteilyintensiteettiin eri vuorokauden- ja vuodenaikoina aurinkovoimalan sijaintipaikalla. Aurinkotuoton käyrä on osittain myös satunnainen ilmiö, joka johtuu pääosin satunnaisesti vaihtelevasta pilvisyydestä. Nämä tekijät on huomioitu skaalaamalla aurinkopaneelien maksimiteho auringon säteilyintensiteetin mukaiseksi ja kertomalla näin saadut tuntikohtaiset tuotot satunnaisesti vaihtelevalla kertoimella niin, että kokonaistuotto vastaa aurinkovoimalalle annettua vuotuista huipunkäyttöaikaa (noin 850 tuntia).

Esimerkkilaskelmissamme arvioimme erään Etevät-hankkeen pilot-yrityksen oman ja ulkopuolisen käytön aurinkovoiman suhdetta. Koska yrityksen vuosittainen sähkönkäyttö oli noin 35.000 kWh, oli ennakoarvioimme, että kyseisen pk-yrityksen kannattaisi hankkia vain noin 2 kW_p:n aurinkojärjestelmä. Koska sähkönkulutuksen käyrä oli kuitenkin poikkeuksellisen edullinen aurinkotuoton kannalta, teimme arvion 10 kW_p -aurinkojärjestelmän hankinnan jakautumisesta. Simulointimme mukaan jopa 79 % aurinkovoiman tuotannosta voidaan käyttää kohteessa korvaamaan sähkönhankintaa ja vain noin 21 % aurinkovoiman tuotannosta täytyy myydä ulkopuoliseen verkkoon. Koska 10 kW_p:n järjestelmän hankintahinta on suhteessa pienempää järjestelmää edullisempi, vaikuttaa tämä ja korkea oman käytön osuus myönteisesti aurinkojärjestelmän hankinnan kannattavuuteen. Laskelmamme mukaan kyseisessä tapauksessa järjestelmän takaisinmaksuaika on hieman alle 13 vuotta, kun sähkön hinnan vuotuiseksi nousuksi arvioidaan 4 %. Investoinnin sisäinen korko oli kyseisessä tapauksessa 6 %, ja sitä voidaan pitää varsin hyvänä investoinnin tuottoasteena.

TARKASTELUN VIRHEARVIOINTI JA RISKITEKIJÄT

Etevät-hankkeen aurinkosähköä koskevassa tarkastelussa pilot-yritysten aurinkosähkön kokonaistarkastelussa ei ole otettu huomioon aurinkosähköjärjestelmän teknisiä rajoituksia, kuten järjestelmän asennukseen tai tuottavuuteen liittyviä tekijöitä. Näin ollen joissakin tapauksissa aurinkosähköjärjestelmää ei välttämättä voida esimerkiksi asentaa tarkastelun mukaisessa kokoluokassa. Tarkastelussa ei ole myöskään huomioitu aurinkosähköjärjestelmän mahdollisia lisähyötyjä, joista voi olla pilot-yrityksille suoraa taloudellista hyötyä vähähiilisyiden ohella (Tanskanen & Korpijärvi 2018, 232–238).

Lisäksi tarkastelun keskeisenä riskinä voidaan pitää takaisinmaksuajan ja investoinnin kannattavuuden kannalta sähkön hinnoittelussa sekä sähkönsiirrossa mahdollisesti lähitulevaisuudessa tapahtuvia muutoksia. Tässä tarkastelussa on huomioitu ainoastaan muuttuvia kustannuksia, joihin tällä hetkellä lukeutuu suurelta osin myös sähkön siirtomaksun osuus. Mikäli siirtomaksu muutetaan nykyisestä laskutusmallista kiinteään maksuun, investointilaskelmat eivät enää pidä paikkansa, vaan investointien kannattavuus olisi heikompi. Toisaalta tulevaisuudessa aurinkokennojen tehokohtainen hinta luultavasti edelleen laskee, joka vaikuttaa kannattavuutta parantavasti, mikäli investointia lykätään.

PÄÄTELMÄT JA SUOSITUKSET AURINKOSÄHKÖN KÄYTTÖÖNOTOSTA KIINNOSTUNEILLE YRITYKSILLE ETELÄ-SAVON ALUEELLA

Artikkelissa esitettyjen aurinkosähkön käyttöönottoon ja investointikannattavuuteen liittyvien tarkastelujen tavoitteena oli osoittaa, millä tavoin ja millaisin rajauksin pk-sektorin yritykset pystyisivät hyödyntämään aurinkosähköä Etelä-Savon alueella. Etevät-hankkeessa tehtyjen kannattavuustarkastelujen perusteella voidaan todeta, että aurinkosähkön investointikannattavuus riippuu hyvin suuresti muutamasta keskeisestä tekijästä, jotka ovat yrityksen oman sähkönkulutuksen määrä ja profiili, auringon säteily määrä, tuotetun aurinkosähkön omaan käyttöön hyödynnettävissä olevan osuuden määrä sekä Business Finlandin energiatuki. Business Finlandin energiatuen ehtona on vähintään 10 000 euron investointi. Etevät-hankkeen tarkastelujen perusteella tämän suuruinen investointi vastaa vähintään 10 kWp:n aurinkosähköjärjestelmän hankintaa. Aurinkoenergialla tuotetun sähkön ulosmyyntihinnoittelu ja verotus puolestaan johtavat siihen, että vain omaan käyttöön tuottaminen on tällä hetkellä kannattavaa. Näin ollen oman käytön osuudella ja suuruudella on merkittävä vaikutus investoinnin kannattavuuteen. Näillä reunaehdoilla aurinkosähköjärjestelmää ei kannata mitoittaa omaa sähkönkulutusta suuremmaksi. Pienillä pk-sektorin yrityksillä aurinkosähköjärjestelmän koko saattaa jäädä alle 10 kWp:n kokoluokkaan, jolloin investointi ei ole kannattava Etevät-hankkeessa investoinnin kannattavuuden rajana käytetyn 10 vuoden takaisinmaksuajan rajoissa.

Etevät-hankkeen aurinkosähkön käyttöönottoa ja investointeja koskevassa tarkastelussa tulokset osoittivat, että aurinkosähköstä kiinnostuneista pilot-yrityksistä 60 % voisi tehdä aurinkosähköinvestoinnin taloudellisesti kannattavalla tavalla. Lisäksi tarkastelussa mukana olevissa pilot-yrityksissä kokonaisuudessaan noin 6 % nykyisestä sähkönkulutuksesta pystyttäisiin korvaamaan aurinkosähköllä.

Investoinnin kannattavuuden osalta Etevät-hankkeessa voidaan kuitenkin jo nyt todeta, että investoinnin kannattavuuden arvioinnissa vaikuttavat pilot-yrityksissä myös muut kuin puhtaasti taloudellisenä takaisinmaksuaikana ja kannattavuutena tehtävät määritykset. Aurinkosähkön investointimyönteisyyteen saattavat Etevät-hankkeen pilot-yrityksissä vaikuttaa kustannussäästöjen ohella myös muun muassa energiaomavaraisuuden parantaminen, vihreän markkinoinnin mahdollisuudet sekä vähähiilisyys ja kestäväan kehitykseen liittyvät näkökohdat (Tanskanen & Korpijärvi 2018, 232–238). Motiva Oy julkaisi aiheesta syksyllä 2018 selvityksen, jonka mukaan yrityksissä energiatehokkuuden oheishyötyinä ovat taloudellisten hyötyjen ohella myös muun muassa ympäristö- ja mainehyödyt sekä työolojen parantuminen (Motiva Oy 2018c). Välillisillä hyödyillä saattaa olla erittäin suuri painoarvo lopullisia investointipäätöksiä tehtäessä, vaikka niitä ei pystyttäisi puhtaasti taloudellisesti osoittamaan. Näin ollen Etevät-hanke pystyy tuottamaan pilot-yrityksille päätöksenteon tueksi tarvittavaa tietoa, mutta jokainen yritys määrittää itse, minkälaisia investointeja se pitää oman toimintansa kannalta kannattavina ja hyödyllisinä.

Aurinkosähkön hyödyntämistä suunnitteleva yritys voi helpoimmassa tapauksessa saada tarvitsemansa yleistason tiedot investoinnin kannattavuudesta pyytämällä aurinkosähköjärjestelmätarjouksen. Aurinkosähköjärjestelmän mitoitukseen tarvitaan pohjatietona vähintään sähkönkulutuksen tuntikohtainen kulutusprofiili, jonka yritykset voivat saada oman energiayhtiönsä sähköisistä palveluista. Myös Etevät-hankkeessa kaikille aurinkosähköstä kiinnostuneille yrityksille pyydettiin tarjoukset paikallisilta sähkönsiirto- ja myyntiyhtiöltä, jotta yrityksillä olisi päätöksentekonsa tueksi julkisia listahintoja tarkemmat hintatiedot (Etelä-Savon Energia Oy 2018 ja Lumme Energia Oy 2018). Jokainen yritys voi lisäksi arvioida aurinkosähköjärjestelmänsä mitoitusta Motiva Oy:n verkkosivuilleen kokoaman kattavan aurinkosähköjärjestelmien mitoitusmenetelmistä kertovan sivuston (Motiva 2018a) sekä investointien takaisinmaksuaikaa ja kannattavuutta selventävän laskurin avulla (Motiva 2018b).

LÄHTEET

Business Finland 2018. Energiatuki. www.businessfinland.fi/energiatuki/. Viitattu 30.10.2018.

Etelä-Savon Energia Oy 2018. Aurinkosähköhinnat. <http://ese.fi/fi-fi/article/etusivu/aurinkosahkojarjestelmien-hinnasto/54/>. Viitattu 20.4.2018.

Lumme Energia Oy 2018. Aurinkosähköpaketit ja -hinnat. www.lumme-energia.fi/aurinkosahko/aurinkosahkopaketit/. Viitattu 20.4.2018.

Motiva Oy 2018a. Mitoitusmenetelmiä. Päivitetty 5.1.2018. Saatavilla: www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkosahko/hankinta_ja_asennus/aurinkosahkojarjestelman_mitoitus/mitoitusmenetelmia. Viitattu 10.11.2018.

Motiva 2018b. Laskentatyökalu energiatehokkuustoimien taloudellisen kannattavuuden tarkasteluun. Päivitetty 16.5.2018. www.motiva.fi/ratkaisut/energiakatselmustoiminta/tem_n_tukemat_energiakatselmukset/laskentatyokalu_energiatehokkuustoimien_taloudellisen_kannattavuuden_tarkasteluun. Viitattu 21.11.2018.

Motiva 2018c. Energiatehokkuuden oheishyödyt yrityksissä. Päivitetty 24.10.2018. www.motiva.fi/files/15389/Energiatehokkuuden_oheishyodyt_yrityksissa.pdf.

Tanskanen, R. & Korpijärvi, J. 2018. Promoting energy efficiency via renewable energy utilisation for small and medium-sized enterprises in the South Savo region Finland: Case of solar electricity. Teoksessa Aarrevaara, E. & Harjapää, A. (toim.). Smart Cities in Smart Regions 2018 Conference Proceedings. Lahden ammattikorkeakoulun julkaisusarja, s. 232–238. <http://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-2018091815195>.

YMPÄRISTÖNÄYTTEENOTTO - OHJATTUA TOIMINTAA

Marjatta Lehesvaara

Ympäristötutkimusketju muodostuu tutkimuksen suunnittelusta, näytteenotosta, analytiikasta, tulosten käsittelystä ja tulkinnasta sekä kokoavasta raportoinnista. Kaiken lähtökohdiana on tutkimusongelman määrittely eli se, minkä vuoksi työhön ryhdytään. Ympäristönäytteistä saatavia analyysi- ja mittaustuloksia käytetään moniin tarkoituksiin. Ne voivat esimerkiksi kuulua vuosikymmeniä jatkuneisiin seuranta-tutkimuksiin, niillä voidaan kerätä tietoa kotimaisiin ja kansainvälisiin rekistereihin tai niitä voidaan käyttää tukena suurissa ja kalliissa päätöksissä (esim. jäteveden käsittely, maaperän kunnostus). Siksi saatavan tiedon on oltava laadukasta ja oikean loppupäätelmän tuottamiseksi koko tutkimusketjuun on voitava luottaa. Ympäristöanalytiikan taso on nykyisin varsin korkea, ja näytteenoton tai mittauksen virhe voi olla moninkertainen verrattuna analytiikan virheisiin. Näytteenottoon liittyvää epävarmuutta voidaan hallita toimimalla voimassa olevan lainsäädännön ja standardiohjeiden mukaan.

LAINSÄÄDÄNTÖ OHJEISTAA

Ympäristönsuojelulaki (527/2014) on pilaantumisen torjunnan yleislaki, jossa annetaan muun muassa maaperän ja pohjaveden pilaamiskielto ja säädetään myös maaperän ja pohjaveden puhdistamisvelvollisuudesta. Puhdistamistarpeen arviointia varten tarvitaan tietoa haitallisten aineiden pitoisuuksista maaperässä tai pohjavedessä, mikä puolestaan tarkoittaa näytteenottoa ja näytteiden analysointia. Laki mukaan ”täytäntöönpanon edellyttämät mittaukset, testaukset, selvitykset ja tutkimukset on tehtävä pätevästi, luotettavasti ja tarkoituksenmukaisin menetelmin.” (Ympäristönsuojelulaki 209§)

Valtioneuvoston asetus maaperän pilaantumisen ja puhdistustarpeen arvioinnista (214/2007) eli Pima-asetus sisältää eräiden yleisesti esiintyvien maaperän haitallisten aineiden pitoisuuksien kynnys- ja ohjearvot maaperässä. Jotta maaperän pilaantuneisuus ja vallitsevat taustapitoisuudet saadaan selvitettyä, tarvitaan näytteitä, jotka edustavat hyvin tutkittavan alueen maaperää ja pohjavettä. (Pima-asetus 5§ 214/2007)

EU:n vesipuitedirektiivin (2000/60/EY) mukaan ”vesi ei ole tavallinen kaupallinen tuote, vaan pikemminkin perintö, jota on sellaisena suojeltava, puolustettava ja kohdeltava”. Vesipuitedirektiivi on tuonut kaikki EU:n vesistöt suojelun piiriin ja vahvistanut puitteet pinta- ja pohjavesien suojelulle ja asettanut ympäristöpolitiikan tavoitteet, joihin kuuluvat

vesien hyvän kemiallisen ja ekologisen tilan saavuttaminen ja vesien tilan huonontumisen ehkäiseminen. Suomessa direktiivi on pantu täytäntöön kansallisoin säädöksin, joista tärkeimmät ovat laki vesienhoidon ja merenhoidon järjestämisestä (1299/2004) sekä sen nojalla annetut asetukset. (<http://www.ymparisto.fi/fi-FI/Luonto/Lainsaadanto>)

EU:n meristrategiapuitedirektiiviä (2008/56/EY) toteutetaan Suomessa merenhoitosuunnitelmalla, josta tällä hetkellä toteutetaan kolmatta eli viimeistä osaa. Ensimmäiset osat käsittivät meren nykytilan ja hyvän tilan arvion sekä ympäristötavoitteiden ja indikaattoreiden asettamisen ja seurantaohjelman. Nyt toteutettava osa käsittää merenhoidon toimenpideohjelman vuosille 2016–2021. (Laamanen 2016)

Vesienhoitolain (1299/2004) mukaan viranomaisten tulee laatia selvitys ihmistoiminnan vaikutuksista vesiin sekä valmistella vesien ekologisen ja kemiallisen tilan luokittelu. Näiden laatimisesta on säädetty tarkemmin vesienhoitolain nojalla annetussa valtioneuvoston asetuksessa vesienhoidon järjestämisestä (1040/2006). Tässä asetuksessa annetaan säännökset vesien ekologisen ja kemiallisen tilan luokitteluksi. Vedet luokitellaan niiden ekologisen tilan ja kemiallisen tilan perusteella. Kemiallisessa luokituksessa huomioon otettavista haitallisista aineista on säädetty valtioneuvoston asetuksessa vesiympäristölle vaarallisista ja haitallisista aineista (1022/2006, muutos 868/2012, 1308/2015). Jotta vesien kemiallinen tila olisi hyvä, niiden on täytettävä tietyille kemikaaleille eli niin sanotuille prioriteettiaineille asetetut ympäristölaatuvaatimukset. Prioriteettiaineet ovat vesipuitedirektiivissä määriteltyjä kemikaaleja, jotka aiheuttavat riskin vesiympäristölle tai vesiympäristön välityksellä. Osa prioriteettiaineista on määritelty vaarallisiksi prioriteettiaineiksi, koska ne ovat hitaasti hajoavia, eliöhin kertyviä ja/tai myrkyllisiä tai muuten huolta aiheuttavia. (Karvonen ym. 2012)

Ympäristölaatuvaatimukset on asetettu yhteensä 53 aineelle/aineryhmälle. Normeja käytetään hyväksi vesien kemiallisen tilan arvioinnissa siten, että vesissä olevien vaarallisten ja haitallisten aineiden pitoisuuksia verrataan lainsäädännössä asetettuihin ympäristölaatuvaatimuksiin. Esimerkkejä haitallisista aineista ovat muun muassa elohopea, kadmium, lyijy, organohalogeniyhdisteet ja orgaaniset tinayhdisteet. (Aroviita 2012). Kemiallisen tilan perusteella vedet luokitellaan hyväksi tai sitä huonommaksi.

Valtioneuvoston asetuksella 1303/2004 on määritelty Suomen vesienhoitoalueet, joille tulee olla laadittuna vesienhoitosuunnitelmat. Vesienhoitosuunnitelmissa esitetään vesienhoidon yleislinjat sekä määritellään tavoitteet ja toimenpiteet vesienhoitoalueella tehtävälle vesienhoitotyölle.

STANDARDIT JA MUUT OHJEET

Asetuksessa vesiympäristölle vaarallisista ja haitallisista aineista säädetään, että kaikki analyysimenetelmät, mukaan luettuina laboratorio-, kenttä- ja online-menetelmät, on validoitava ja dokumentoitava EN ISO/IEC-17025 -standardin tai muiden kansainvälisellä

tasolla hyväksytyjen vastaavien standardien mukaisesti. Lisäksi todetaan, että aineiden analysoinnissa on käytettävä SFS-, EN- tai ISO-standardien mukaisia menetelmiä tai niitä tarkkuudeltaan ja luotettavuudeltaan vastaavia menetelmiä. Myös Pima-asetuksessa todetaan, että haitallisten aineiden tutkimusten tulee perustua standardoituihin tai niitä luotettavuudeltaan vastaaviin menetelmiin.

Ympäristönäytteenoton standardit kuuluvat ryhmään 13 *Ympäristön ja terveydensuojelu: Turvallisuus*. Näytteenottoa ohjaavia standardeja on olemassa näytteenoton suunnittelusta ja näytteenottotekniikoista ja kenttämenetelmien valinnasta aina näytteiden käsittelyyn ja säilytykseen saakka. Useat standardit sisältävät myös käsitteitä ja määritelmiä avaavan osan. Standardeja päivitetään jatkuvasti. Standardi voidaan kumota ja sen tilalle tulee mahdollisesti uusi päivitetty versio tai standardi voi poistua kokonaan käytöstä. Monet standardit on julkaistu vain englannin kielellä, vaikka ne olisikin vahvistettu Suomessa. Seuraavaan on koottu esittely keskeisistä näytteenoton ohjeistukseksi tarkoitetuista standardeista.

Vesinäytteenottoon liittyvät standardit kuuluvat ISO 5667 -standardisarjaan, joiden yhteinen otsikko on *Veden laatu: Näytteenotto*. Tähän sarjaan kuuluvia voimassa olevia standardeja löytyi lokakuussa 2018 SFS-online-hakupalvelun kautta 41 kpl. Tuorein standardi on ke-säkuussa 2018 vahvistettu vesinäytteiden kestäväointiä ja käsittelyä koskeva 5667-3-standardi. Tässä standardissa esitetään yleiset vaatimukset, jotka koskevat vesinäytteiden, kestäväointiä, käsittelyä, kuljetusta ja säilytystä. ISO 5667-3 -standardi soveltuu etenkin tilanteisiin, joissa yksittäisiä näytteitä tai kokoomanäytteitä ei analysoida kentällä vaan näytteet kuljetetaan laboratorioon analysoitavaksi. Kestäväointi voi olla esimerkiksi saostuskemikaalien lisäämistä happinäytteisiin kentällä kuten kuvassa 1.



KUVA 1. Vesinäytteenottoa ja hapen saostusta Mikkelin Pankalammella (kuva Marjatta Lehesvaara).

ISO 5667-3 -standardia ei kuitenkaan sovelleta ISO 19458 -standardissa määriteltyihin mikrobiologisiin analyysihin tarkoitettuihin vesinäytteisiin, ympäristötoksikologisiin määrittelyihin, biologisiin määrittelyihin tai ISO 5667-3 standardin soveltamisalassa määriteltyyn passiiviseen näytteenottoon. ISO 19458 -standardin painopiste on mikrobiologisiin tutkimuksiin tähtäävässä näytteenotossa. Siinä annetaan ohjeita, jotka koskevat mikrobiologista tutkimusta varten tehtävää näytteenottoa, sen suunnittelua ja tutkimusta edeltävää näytteiden kuljetusta, käsittelyä ja säilytystä.

Maaperästä otettavien näytteiden ohjeita löytyy useammasta standardisarjasta. SFS-ISO 10381 -standardisarjassa oli lokakuussa 2018 kolme voimassa olevaa standardia. Näiden yhteinen otsikko on Maaperän laatu: Näytteenotto. Useita tämän sarjan standardeja on kumottu vuosien 2017-2018 aikana. Voimassa olevia tämän sarjan standardeja ovat englanninkieliset SFS-ISO 10381-4: *Guidance on the procedure for investigation of natural, near-natural and cultivated sites*, SFS-ISO 10381-5: *Guidance on the procedure for the investigation of urban and industrial sites with regard to soil contamination* ja SFS-ISO 10381-8: *Guidance on sampling of stockpiles*. Nämä standardit ohjeistavat näytteenottoon luonnontilaisilta, lähes luonnontilaisilta tai viljellyiltä alueilta, kaupunki- ja teollisuusalueilta sekä varastokasoista.

SFS-ISO 18400 -standardisarjassa *Maaperän laatu: Näytteenotto* oli lokakuussa 2018 17 voimassa olevaa standardia. Viimeisimpänä tämän sarjan standardeista on vahvistettu *Osa 106: Laadunvarmistus ja ohjaus* syyskuussa 2018. Nimensä mukaisesti standardin ohjeita sovelletaan maaperänäytteiden laadunvarmistukseen ja näytteenoton ohjaukseen. Standardisarjan osassa 105 *Näytteiden pakkaaminen, kuljetus, säilytys ja kestäväointi* esitetään yleiset periaatteet maa-ainesten ja vastaavien materiaalien näytteiden pakkaamiseen, kestäväointiin, kuljetukseen ja toimitukseen tilanteissa, joissa tarvitaan näytteiden kemiallista analyysia. ISO 18400 -standardisarjan muissa osissa esitetään tarkemmin eri näytteenottotarkoituksiin sopivia menettelyjä. SFS-ISO 18512: *Soil quality - Guidance on long and short term storage of soil samples* sisältää ohjeita maanäytteiden säilyttämiseen ja kestäväointiin sekä valmistella näytteiden valmisteluun säilytyksen jälkeistä analyysia varten. Standardissa myös kuvataan näytteiden maksimisäilyvyysaikoja eri olosuhteissa.

Seulontamenetelmillä eli ns. kenttä- tai pikamenetelmillä voidaan analysoida huomattavasti useampia näytteitä ja saada tuloksia nopeammin kuin perinteisemmillä laboratorioissa käytettävillä menetelmillä. SFS-EN ISO 12404 *Maan laatu: Ohjeistus seulontamenetelmien valinnasta ja soveltamisesta* antaa ohjeita seulontamenetelmien käyttöön (www.sfs.fi).



KUVA 2. Petroflag-kenttämittaustarvikesalkku (kuva Marjatta Lehesvaara).

Kenttämenetelmiä ovat esimerkiksi kiinteän näytteen metallien monitorointiin käytettävä röntgenfluoresenssi- eli XRF-menetelmä ja maan kokonaisöljypitoisuuden määrittämiseen käytettävä Petroflag (kuva 2). Maaperän haihtuvia yhdisteitä voidaan monitoroida Pid-tekniikalla, joka perustuu kaasumaisten yhdisteiden ionisoimiseen valon avulla. Vesinäytteistä kentällä mitataan yleisesti pH, sähkönjohtokyky, sameus ja usein nykyään myös happipitoisuus.

VAATIMUKSET VEDENLAATUREKISTEIHIN VIETÄVÄLLE TIEDOLLE

Suomen ympäristökeskus SYKE on julkaissut vuonna 2013 ympäristömittausten laatutason ja jäljitettävyyden parantamiseksi laatusuositukset vedenlaaturekistereihin vietävälle tiedolle. Oppaan julkaisu on koettu tarpeelliseksi, koska rekistereihin tuotetun tiedon laadussa on havaittu suurta vaihtelua, mikä hankaloittaa tutkimustiedon vertailtavuutta.

Ohjeessa on annettu suosituksia muun muassa vesistä määritettävien analyysien määritysrajoille, mittausepävarmuuksille sekä näytteiden säilytysajoille ja -tavoille (Näykki 2013, 43). Määritysrajojen ja mittausepävarmuuksien suosituksissa on otettu huomioon myös tarve pienten pitoisuuksien määrittämiseen. Oppaassa todetaan, että suositusten noudattaminen

saattaa aiheuttaa lisäkustannuksia toimijoille. Kuitenkin suositusten mukaan ottaminen esimerkiksi velvoitetarkkailujen kilpailutukseen helpottaa tarjousten vertailua erityisesti silloin, kun arvioidaan määritysten laatua. Jotta rekisteriin vietävän tiedon laatu, vertailtavuus ja käytettävyys pystytään varmistamaan, suositukset tulee huomioida analytiikan tuottajien valinnassa.

NÄYTTEENOTTAJIEN SERTIFIOINTI

Kentällä näytteenottoa tekevä henkilö voi ympäristönäytteenottajien sertifiointijärjestelmän avulla osoittaa pätevyytensä sekä perinteisessä näytteenotossa että ympäristömittauksissa ja havainnointitoiminnassa. Henkilösertifiointilla todetaan henkilön pätevyys ympäristönäytteenottoon sekä ympäristömittaus- ja havainnointitoimintaan. Toimintaan pätevä henkilö tuntee tälle toiminnalle asetetut yleiset laatuvaatimukset, ja hänellä on järjestelmän mukaiset tiedot ja taidot. Henkilö voi varmistaa pätevyytensä yhdellä tai useammalla erikoistumisalalla.

Vuodesta 2016 lähtien erikoistumisaloja on ollut kuusi: vesinäytteenotto ja mittaus, näytteet maaperästä ja kiinteistä jätteistä, talous- ja uimavesinäytteet, vesiympäristön biologinen näytteenotto, hydrologisen seurannan kenttätöet, ilmanlaatumittaukset, melun mittaus ja arviointi, luontoselvitykset. Näytteenottaja voi saada pätevyystodistuksen, kun määrätyt taito- ja tietovaatimukset täyttyvät. Taitovaatimukset perustuvat hakijan kokemukseen näytteenottajana. Taitovaatimukset täyttääkseen hakijan tulee työskennellä vähintään vuosi näytteenottajana pätevyysalueella. Työkokemuksen ei tarvitse olla yhtämittaista, vaan sen voi hankkia useamman vuoden aikana. Tietovaatimukseen kuuluu kutakin erikoisalaa koskevien kurssien ja tenttien suorittaminen. Erikoistumisalan kurssin, tentin tai näyttökokeen tulee olla sertifiointijärjestelmän hyväksymän kouluttajan järjestämä. Suoritettu kurssi, näyttökoe tai tentti on voimassa kolme vuotta. Kaikki pätevyudet myönnetään kahdeksaksi vuodeksi kerrallaan. (<http://www.syke.fi>)

Näytteenotto on ratkaiseva vaihe tutkimusketjussa, eikä siinä tehtyjä virheitä voi myöhemmin korjata. Näytteenotossa korostuu huolellinen suunnittelu sekä näytteenottohenkilöstön pätevyys ja osaaminen, joka korostuu varsinkin poikkeavissa tilanteissa. Tutkittavan kohteen ominaisuudet määritetään tutkimuskohteesta otettavista näytteistä, koska koko kohdetta ei voi analysoida. Näytteenoton suurin haaste onkin edustavien näytteiden ottaminen. Näytteenotossa voidaan joutua tilanteisiin, joihin ei ole olemassa täydellistä ratkaisua, mutta on kuitenkin mahdollista päästä resurssihin nähden parhaaseen mahdolliseen tulokseen.

LÄHTEET

Aroviita, J. 2012. Ohje pintavesien ekologisen ja kemiallisen tilan luokitteluun vuosille 2012–2013 – päivitetty arviointiperusteet ja niiden soveltaminen. Ympäristöhallinnon ohjeita 7/2012.

Karvonen, A., Taina, T., Gustafsson, J., Mannio, J., Mehtonen, J., Nystén, T., Ruoppa, M., Sainio, P., Siimes, K., Silvo, K., Tuominen, S., Verta, M., Vuori K.-M. & Äystö, L. 2012. Vesiympäristölle vaarallisista ja haitallisista aineista annettujen säädösten soveltaminen Kuvaus hyvistä menettelytavoista. Ympäristöministeriön raportteja 15/2012.

Laamanen, M. (toim.) 2016. Suomen merenhoitosuunnitelman toimenpideohjelma 2016–2021. Ympäristöministeriön raportteja 5/2016.

Näykki, T., Kyröläinen, H., Witick, A., Mäkinen, I., Pehkonen, R., Väisänen T., Sainio, P. & Luotola, M. 2013. Laatusuosituksset ympäristöhallinnon vedenlaaturekistereihin vietävälle tiedolle: vesistä tehtävien analyttien määrittäysrajat, mittausepävarmuudet sekä säilytysajat ja -tavat. Ympäristöhallinnon ohjeita 4/2013.

www.sfs.fi

www.syke.fi/fi-FI/Palvelut/Laatu_ ja_laboratoriopalvelut/Ymparistonaytteenottajien_ser_tifointipalvelu

Valtioneuvoston asetus maaperän pilaantuneisuuden ja puhdistustarpeen arvioinnista 214/2007.

Ympäristönsuojelulaki 527/2014.

KENTTÄMITTAUKSET YMPÄRISTÖNÄYTTEENOTOSA

Marjatta Lehesvaara

Vesi- ja maaperänäytteenottoon kuuluvat näytteenoton lisäksi myös kentällä tehtävät mitaukset ja analyysit. Kenttämenetelmät ovat yleensä nopeita ja yksinkertaisia suorittaa. Siksi muun muassa kustannussyistä ja mittausten kehittymisen myötä kenttämenetelmien käytön uskotaan yhä kasvavan. Kenttämittauksilla voidaan todeta kiinnostavan aineen esiintyminen näytteessä ja saada suuntaa antava tai kvantitatiivinen tulos. Jotkut tutkittavat parametrit ovat puolestaan sellaisia, että luotettavan mittaustuloksen saamiseksi mittaus on hyvä suorittaa kentällä ilman, että näytettä tarvitsee kuljettaa laboratorioon tutkittavaksi. Kenttämenetelmiä ovat esimerkiksi kiinteän näytteen metallien monitorointiin käytettävä röntgenfluoresenssi- eli XRF-menetelmä ja maan kokonaisöljypitoisuuden määrittämiseen käytettävä Petroflag. Maaperän haihtuvia yhdisteitä voidaan monitoroida Pid-tekniikalla. Vesinäytteistä kentällä mitataan yleisesti pH, sähkönjohtokyky ja usein myös happipitoisuus.

KENTTÄMENETELMIEN KÄYTÖSSÄ HUOMIOITAVAA

Kenttämenetelmiin liittyy yleensä suurempi mittauserävarmuus kuin laboratoriomenetelmiin, mutta niiden avulla voidaan saada nopeasti tietoa alueen lisätutkimuksia tai jatko-toimenpiteitä varten. Jotta menetelmää voidaan käyttää kenttäolosuhteissa, menetelmän suorituskyky tulee tuntea. Tämä tarkoittaa menetelmän ominaisuuksien määrittämistä validoinnilla ennen mittauksia. Validoinnilla määritetään muun muassa menetelmän herkkyys, selektiivisyys ja tarkkuus. Myös menetelmän tai laitteen mittausalue ja havaitsemisraja tulee tuntea. Menetelmän käyttöolosuhteet (lämpötila, kosteus, muut äärimmäiset olosuhteet), rajoitukset ja eri matriisien aiheuttamat häiriöt tulee myös selvittää. Menetelmän suorituskykyyn vaikuttavat suuresti myös menetelmää käyttävän henkilön taidot ja kokemus.

SFS-EN ISO 12404 -standardi *Maan laatu: Ohjeistus seulontamenetelmien valinnasta ja soveltamisesta* antaa yleisiä ohjeita kenttämenetelmien käyttöön maaperänäytteenotossa. Tutkittavan alueen taustatietojen perusteella voidaan arvioida, onko seurantamenetelmien käyttö mahdollista ja minkälaisia seulontamenetelmiä alueella voidaan käyttää. (SFS-EN ISO 12404: 2015)

Kenttämenetelmien laadunvarmennus noudattaa samoja periaatteita kuin laboratoriomenetelmienkin laadunvarmennus. Käyttäjillä tulisi olla käytössään kirjalliset käyttöohjeet, jotka sisältävät ohjeistuksen myös laitteiston kalibroinnista. Menetelmän antaman tuloksen

laatua voidaan arvioida analysoimalla varmennettu vertailumateriaaleja eli näytteitä, joiden pitoisuus tunnetaan. Samoja näytteitä voidaan myös analysoida sekä laboratorio- että kenttämenetelmillä. Kenttämenetelmien käyttäjät voivat osallistua myös vertailukokeisiin. Käyttäjän tulisi tuntea mittausmenetelmän periaate, mikä auttaa arvioimaan myös menetelmän toimivuutta myös ongelmatilanteissa.

MAAPERÄN KENTTÄMITTAUSMENETELMIÄ

Maaperässä syntyy kaasumaisia tai helposti haihtuvia yhdisteitä sekä hapellisissa että hapetomissa olosuhteissa. Mitattavia kaasumaisia aineita ovat esimerkiksi metaani, hiilidioksidi, ammoniakki ja rikkivety sekä erilaiset haihtuvat orgaaniset yhdisteet eli VOC-yhdisteet. IR-aktiivisia aineita eli infrapunasäteilyä absorboivia aineita, kuten metaania ja hiilidioksidia voidaan havainnoida infrapunaspektroskopiaa käyttäen. Ammoniakkia ja rikkivetyä mitataan usein elektrokemiallisin menetelmin.

PID-analysaattorilla (*Photo Ionization Detector*) voidaan mitata ilmasta haihtuvien kaasujen kokonaispitoisuutta. Pumppu imee laitteen sisään ilmaa, joka ionisoidaan valon avulla. Laite tunnistaa vapautuneen energian määrän sähkövirtana ja ilmoittaa sen pitoisuutena ilmassa (ppm). Sähkövirran määrä on verrannollinen ionisoituneiden molekyylien määrään. PID-analysaattorin avulla ei voida tunnistaa tai erottaa kaasuja, vaan havainnoida kaikkien ionisoituvien kaasujen summapitoisuutta. Kaikki haihtuvatkaan orgaaniset yhdisteet eivät ionisoidu käytettävän valon vaikutuksesta, mistä johtuen kaikkia haihtuvia aineita ei pystytä havaitsemaan. Analysaattori kalibroidaan tavallisesti kaksipistekalibroitina käyttäen esimerkiksi huoneilmaa (nollapitoisuus) ja tunnettua kaasupitoisuutta. Laite voidaan kalibroida millä tahansa laitteen tunnistamalla kuivalla kaasulla, kun sen pitoisuus tiedetään.



KUVA 1. VOC-yhdisteiden mittaus maanäytteestä PID-mittarilla (kuva Marjatta Lehesvaara).

PID-mittaus tapahtuu suoraan maaperästä tai maanäytteestä haihtuvasta ilmasta (kuva 1). Haihtuvan kaasun määrään vaikuttaa pitoisuuden lisäksi etenkin lämpötila, maa-aineksen tiiviys sekä aika, jonka maanäyte on ollut ilman kanssa tekemisissä ennen mittausta. Eri kaasulla on erilainen taipumus haihtua ilmaan maaperästä. Lisäksi eri kaasut antavat erilaisen vasteen mittalaitteen detektorilla. Koska kosteus häiritsee PID-mittausta, mittalaitetta ei tulisi käyttää kostealla säällä eikä vesisateella. Mitatessa tulee myös varoa, että maa-ainesta ei joudu imun mukana mittakammioon. (Lepistö 2014, 48)

KOKONAISHIILIVETYJEN MITTAUS PETROFLAGILLA

PetroFlag-analysaattori on kenttämittauslaite, jolla mitataan kokonaishiilivetyjen pitoisuutta maanäytteessä. Menetelmässä punnittu maanäyte uutetaan metanolia sisältävään liuottimeen. Uutettu liuos suodatetaan kehitteeseen, joka samentuu näytteen vaikutuksesta. Analysaattorilla mitataan kehittepullossa olevan näytteen läpi kulkevan valon määrä, jonka laite muuttaa pitoisuustiedoksi.

Petroflag kalibroidaan kaksipistekalibrintina nollapitoisuudella (uuttoliuotin) ja tunnetulla pitoisuudella. Yleensä kalibrintiin käytetään laitteen reagenssipakkauksen mukana tulevia liuoksia, mutta myös erillisiä kalibrintipakkauksia on saatavilla. Mittausta voivat häiritä PAH-yhdisteet ja luonnon humus tai turve. Näiden aiheuttaman virheen voi mahdollisesti todeta poikkeavasta värireaktiosta (esimerkiksi kellertävä tai ruskehtava väri). Mittauksessa myös kehittepullon ulkopuolinen puhtaus on tärkeää, koska mittaus perustuu valon läpäisevyyteen. Näytteen sisältämää hienoa maa-ainesta voi joutua suodatusvaiheessa kehitteeseen, ja se voi samentaa näytettä. Petroflagia käytettäessä lämpötilan tulee olla selvästi 0 °C yläpuolella. (Lepistö 2014, 49)

XRF-MITTAUS

XRF-mittalaitteilla eli röntgenfluoresenssilaitteilla mitattaessa näytteeseen kohdistetaan mittauksen aikana röntgensäde, joka osuessaan kohdeatomiin vapauttaa atomin sisäkuorelta elektronin. Tämä elektroni korvautuu ylemmän energiatason elektronilla, jolloin vapautuu fluoresenssisäteilyä. Tällä menetelmällä voidaan tunnistaa eri alkuaineiden atomeja ja myös määrittää niiden pitoisuutta näytteessä. Aineiden tunnistus perustuu kullekin alkuaineelle ominaiseen säteilyyn, joka johtuu siitä, että jokaisella alkuaineella on sille ominainen elektronirakenne. Tutkittavan aineen määrän arviointi tapahtuu säteilyn voimakkuuden perusteella. (Lepistö 2014, 52)

XRF-laitteen mittausalue on melko pieni, mikä asettaa vaatimuksia näytteen homogeenisuudelle. Mittaus onkin hyvä tehdä useampaan kertaan samasta näytteestä ja muuttaen kohtaa, josta mittaus tehdään. Mittausta ei pidä kohdistaa näytteessä olevaan kiveen tai muuhun esineeseen, jos sen ei ajatella olennaisesti kuuluvan näytteeseen. Näytteen kosteus vaikuttaa mittaustulokseen yli 10 %:n suuruudessa. Alkuaine voi jäädä havaitsematta tai

mittaustulos antaa todellisuutta alhaisemman pitoisuuden. Mittausaika riippuu analyysin tarkkuustarpeesta, mitattavasta alkuaineesta ja näytetyypistä. Kuten muutkin analyysilaitteet, myös XRF-laite tulee kalibroida sillä matriisilla, jolla mittauksia aiotaan suorittaa. Esimerkiksi jos mitataan alkuaineita maaperästä, tarvitaan maaperäkalibrointi. Jos taas mitataan pitoisuuksia romumetallista, tarvitaan tähän tällä matriisilla tehty kalibrointi. Laitetta käytettäessä on huolehdittava työturvallisuudesta, sillä mittauksen aikana laitteesta lähtevä röntgensäde on syöpävaarallinen.

VEDEN LAADUN MITTAUKSIA KENTÄLLÄ

Yleisimpiä vedestä kentällä tehtäviä mittauksia ovat pH:n ja sähkönjohtokyvyn mittaukset (kuva 2). Veden pH-lukema ilmaisee vetyionien eli H⁺-ionien pitoisuutta vedessä. Mittaus tapahtuu potentiometrisesti, eli mittaava elektrodi reagoi jännitteen muutoksella, kun H⁺-ionien pitoisuus vedessä muuttuu. pH-elektrodien säilytykseen ja mittarin huolelliseen kalibrointiin tulee kiinnittää huomiota luotettavien mittaustulosten saamiseksi. Veden sähkönjohtokyky aiheutuu veteen liuenneista suoloista eli ioniyhdisteistä. Sähkönjohtokykyyn vaikuttaa ioniyhdisteen määrän lisäksi myös sen laatu eli ionien koko ja niiden varaus.



KUVA 2. pH:n ja sähkönjohtokyvyn mittaus kentällä (kuva Marjatta Lehesvaara).

Sekä pH että sähkönjohtokyky muuttuvat herkästi esimerkiksi ilmasta imeytyvän hiilidioksidin vaikutuksesta, mikä puoltaa näiden parametrien mittaamista suoraan kentällä.

Myös veden happipitoisuutta mitataan usein kentällä. Käytössä olevia tekniikoita ovat nykyisin sähkökemiallinen mittaus ja fluoresenssiin perustuva optinen mittaus. Vesissä,

joissa virtaama on pieni, sähkökemiallisella mittauksella saatujen happipitoisuuksien on havaittu olevan pienempiä kuin fluoresenssiin perustuvalla menetelmällä saadut pitoisuudet. Sähkökemiallinen happianturi vaatii myös enemmän huoltoa ja kalibrointia useammin kuin optinen happianturi, joka on varsin huoltovapaa. (Björklöf 2016, 10)



KUVA 3. YSI ProDSS -multiparametrimittari (kuva Marjatta Lehesvaara).

Samaan mittariyksikköön voidaan usein liittää useampia antureita, jolloin yhdellä mittauksella saadaan tietoa esimerkiksi veden pH:sta, sähkönjohtokyvystä, sameudesta ja happipitoisuudesta. Kuvassa 3 olevaan YSI ProDSS -mittariin on valittavissa anturit 17 mittausparametriä varten. Näiden lisäksi kokonaisuus voidaan täydentää vielä syvyyden mittauksella ja GPS-paikannuksella (www.gwm-engineering.fi).

KENTTÄMITTAUSTEN MERKITYS KASVUSSA

Kenttämittausten hallitsemisen tärkeyttä painotetaan näytteenottajien sertifiointijärjestelmän mukaisten kurssikriteerien vaatimuksissa. Esimerkiksi Vesi- ja vesistönäytteet -kurssi on muuttunut Vesinäytteenotto ja mittaus kurssiksi (Syke s.a.). Näytteenottajan tulee hallita laitteen ylläpito, kalibrointi, oikeaoppinen käyttö ja mittausten laadunvarmennus. Kunkin laitteen käytön periaatteiden ja mittaustekniikan tunteminen on tärkeää varsinkin ongelmatilanteissa.

Kenttämittauksilla voidaan saada tuloksia nopeammin kuin perinteisemmällä laboratoriossa käytettävillä vertailumenetelmillä. Kenttämittaukset ovatkin hyvä keino täydentää laboratoriossa tehtäviä tutkimuksia. Näin on mahdollista esimerkiksi tunnistaa huomattavasti nopeammin ja tehokkaammin alueita, joilla pitoisuustasot ovat suuria tai hyvin pieniä.

LÄHTEET

Björklöf, K., Leivuori, M., Näykki, T., Väisänen, T. & Väisänen, T. 2016. Kenttämittausvertailu 11/2015. Luonnonvesien happi, lämpötila, pH, sähkönjohtavuus ja sameus. Suomen ympäristökeskuksen raportteja 6/2016.

Lepistö, J., Westerholm, H., Schultz E., Uljas, J. & Björklöf, K. 2014. Hyvät käytännöt pilaantuneiden maiden kenttätutkimuksissa. Ympäristöopas 2014.

Syke s.a. www.syke.fi

<https://www.gwm-engineering.fi/fi/tuoteryhmat/vedenlaatu-ja-virtaamamittaukset/puhdas-vesi/ysi-556-situ-mittauksiin-ph-t-do-orp-cond>.

ILMASTONMUUTOKSEN VAIKUTUKSET JÄRVI-SUOMEEN

Sanna Hämäläinen & Olli Perälä & Aki Taavitsainen & Liisa Routaharju

Ilmastonmuutos puhuttaa globaalisti ja paikallisesti. Etelä-Savossa sen vaikutukset eivät ehkä ole yhtä dramaattisia kuin Tyynenmeren nousevan pinnan alle jäävissä saarivaltioissa, mutta vaikutukset vaativat varautumista yhtä kaikki. Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulun (Xamk) ympäristötekniikan opiskelijat selvittivät ilmastonmuutoksen mahdollisia vaikutuksia Järvi-Suomessa Etelä-Savon ELY-keskuksen Mikkelin toimipisteen toimeksiannosta osana työelämälähtöisen projektityön opintojaksoa syksyllä 2017. Tavoitteena oli selvittää vaikutuksia rakentamiseen, maa- ja metsätalouteen sekä vesistöihin.

Ilmastonmuutoksen yleisiä vaikutuksia selvitettiin kattavan kirjallisuuskatsauksen avulla. Vaikutuksia rakentamiseen, maa- ja metsätalouteen sekä vesistöihin selvitettiin strukturoimattomin asiantuntijahaastatteluin. Haastateltaviksi valittiin Mikkelin kaupungin suunnitteluisinööri Antero Cedeström, Mikkelin vesilaitoksen johtaja Reijo Turkki ja maaseutupäällikkö Kari Mikkonen.

Ilmastonmuutoksen vaikutukset ilmenevät Järvi-Suomessa hyvin samoin kuin muuallakin Suomessa. Epävakaisemmat sääolot ja sään ääri-ilmiöiden yleistyminen vaativat entistä suurempaa huolellisuutta rakentamisessa ja rakennusten ylläpidossa. Olennaista tärkeää on suunnitella rakenteet kestävästi muuttuvia ilmasto-oloja. Hyvällä hulevesien hallinnalla voidaan taajamatulvien ehkäisyn ohella vähentää haitallisia vesistövaikutuksia. Maa- ja metsätalous saattaa jopa hyötyä pidentyvistä kasvukausista, mutta toisaalta olosuhteiden muutos altistaa entistä enemmän kasvitaudeille ja -tuholaisille. Myös kuivien kausien lisääntyminen huolettaa.

Elämme ilmastonmuutoksen aikaa, eikä kaikkia käynnistyneen muutoksen vaikutuksia ole enää mahdollista estää. Erilaisten sopeutumistoimien avulla voidaan vähentää luonnonjärjestelmien ja yhteiskunnan haavoittuvuutta ilmastonmuutoksen aiheuttamille vaikutuksille. Esimerkkejä sopeutumistoimista ovat ilmastonmuutoksen vaikutusten huomioiminen kaavoituksessa ja rakentamisessa, vakuutusjärjestelmien kehittäminen ja erilaisten luonnon ekosysteemien sekä metsiä- ja maatalousjärjestelmien monimuotoisuuden suojeleminen. Sopeutumistoimien suunnittelussa ja mitoituksessa on ensiarvoisen tärkeää tunnistaa tulevat vaikutukset mahdollisimman hyvin.

ILMASTONMUUTOKSEN VAIKUTUKSET RAKENTAMISEEN, RAKENTEISIIN JA ASUMISEEN

Ilmastonmuutos aiheuttaa rakentamiseen haasteita, mutta saattaa myös nopeuttaa rakennusprojektien etenemistä leudompien talvien ansiosta. Kesien mahdolliset hellejaksot tekevät rakentamisesta fyysisesti raskasta ja kuormittavaa. Sateiset syksyt ja talvet on huomioitava työmailla rakennusmateriaaleja varastoitaessa.

Ilmastonmuutoksen aikaansaama sään ääri-ilmiöiden yleistyminen asettaa rakenteet koetukselle lisäten rakentamisen vaatimuksia ja rakennusten huoltotarvetta. Aikaisempaa sateisempaa ja lämpimämpiä syksyt sekä talvet aiheuttavat rakenteiden pinnoille kosteutta altistaen ne kosteus- ja mikrobivaurioille. Kosteat olosuhteet altistavat myös muun muassa peltikatot ja muut metalliset rakenteet korroosiolle, joka heikentää rakenteiden lujuutta ja ulkonäköä merkittävästi. (Ilmasto-opas 2017)

Voimakkaat myrskytuulet voivat jopa rikkoa rakenteita. Huonosti kiinnitetyt tai heikentyneet katot ovat vaarassa repeytyä paikaltaan. Yleistyvät sateet ja rankkasateet aiheuttavat kaupunkialueilla tulvia, jos tätä ei oteta huomioon kaupunkien hulevesijärjestelmien suunnittelussa ja mitoituksessa. Leudot talvet aiheuttavat sen, että asfaltoidut tiet ovat paljaana lähes koko talven. Suomalaiset ovat aina suosineet nastarenkaita, jotka kuluttavat voimakkaasti asfaltoituja tieosuuksia. Tämän seurauksena tiestön uusimis- ja huoltotarve tulee lisääntymään.

MIKKELIN KAUPUNGIN SUUNNITTELUINSINÖÖRI ANTERO CEDERSTRÖMIN HAASTATTELU

Cederströmin mukaan ilmastonmuutos on jo vaikuttanut kaupungin kiinteistöalan työkuvaan. Esimerkiksi lämpimät talvet ja jatkuvasti muuttuvat sääolosuhteet aiheuttavat ongelmia. Kesät voivat olla viileitä ja talvet ovat vähälumisia, ja lämpötilat vaihtelevat voimakkaasti.

Sadevedet ja useasti talven aikana sulavat lumet valuvat asukkaiden tonteille, mihin pitää reagoida, että vahinkoa ei tulisi. Nykyinen Mikkelin alueen verkosto ei Cederströmin mukaan riitä lisääntyville tulville, joten tämä vaatii toimenpiteitä. Saimaan pinnan nousu aiheuttaa ongelmia, joten muun muassa määräykset rakentamiskorkeuteen ovat muuttumassa, jotta rakennukset eivät altistuisi tulvavedelle. Tulvien ohjaus tulee ottaa huomioon alueiden suunnittelussa, jotta hulevedet saadaan ohjattua haluttuun suuntaan eli alueen lähimpään vesistöön. Mikkelin kaupunki on ottanut hulevesialtaita käyttöön hillitsemään tulvia. Näiden huollosta ja uusimisesta aiheutuu lisäkustannuksia (kuva 1).



KUVA 1. Hulevesien suuntauksia Mikkelissä Mannerheimintiellä (kuva Aki Taavitsainen 2017).

Mikkelin kaupungin kustannukset nousevat, koska leutojen talvien myötä katujen hiekoitus-
tarve ja siten myös puhdistustarve kasvavat. Tästä seuraa lisääntyneitä ilmanlaatuongelmia
keväisin. Epävakaat kesät ja talvet aiheuttavat myös päänvaivaa urakoitsijoille. Kunnossa-
pitoyritykset joutuvat tekemään kaupungille tarjouksen lähes arvauksien varassa, koska
säiden ja lumen määrän ennustaminen on mahdotonta.

Myrskyt ovat lisääntymässä Suomessa. Voimakkaat tuulenpuuskat otetaan huomioon jo
suunnitteluvaiheessa. Aluekohtainen puiden kaatamistarve arvioidaan mahdollisten riskien
perusteella. Esimerkiksi isot kuuset voivat aiheuttaa purjevaikutuksia, jotka voivat aiheuttaa
vahinkoa. Alueiden viherkaistojen, tonttien ja kaupunkien kaduille on jätettävä riittävän
leveä kaista minimoimaan myrskytuulen vaikutusta.

ILMASTONMUUTOKSEN VAIKUTUKSET MAA- JA METSÄTALOUTEEN

Suomi on maailman pohjoisin laajamittaista maataloutta harjoittava maa. Vaikka maata-
loutta voidaankin Golfvirran tuoman lämmön ansioista harjoittaa, ovat viljelyn olosuhteet
maassamme hyvinkin epäedulliset. Myös maaperä on yleisesti ottaen köyhää. Maatalouden
osuus ilmastonmuutoksessa on moninainen. Eloperäinen viljely ja eläintuotanto kiihdyttävät
ilmastonmuutosta, mutta toisaalta hyvin hoidetut kivennäismaat voivat myös sitoa hiili-
dioksidia ja toimia hiilivarastoina. (Maa- ja metsätaloustuottajain keskusliitto MTK 2017)

Ilmastonmuutoksen vaikutuksesta ilmakehän hiilidioksidipitoisuus nousee ja lämpötila kohoaa. Se kiihdyttää viljelykasvien kasvua ja kehitysrytmiä sekä muuttaa maaperän ravinne- ja vesitaloutta. Tämä vaikuttaa suurelta osin peltoviljelyyn. Ilmaston hiilidioksidi taas lisää kasvien yhteyttämistä sekä tehostaa niiden veden käyttöä. (Luonnonvarakeskus Luke 2017)

MAASEUTUPÄÄLLIKKÖ KARI MIKKOSEN HAASTATTELU

Maaseutupäällikkö Kari Mikkosen mukaan 2000-luvulla yleiset kuivat ja kuumat kesäkaudet ovat olleet haasteellisia maataloudelle ja erityisesti karjataloudelle. Viime aikoina maataloudessa on kehitetty erilaisia varajärjestelmiä, jotta vedensaanti karjalle olisi turvattua.

Toisena ääripäänä ovat olleet rankat ja pitkät sadejaksot, joiden vuoksi sadonkorjuu viivästyy tai epäonnistuu. Myös pellot ovat olleet liian märkiä kannattamaan maatalouskalustoa, jotta sadonkorjuuta voitaisiin toteuttaa oikeaan aikaan. Esimerkiksi vuonna 2017 rypsi ei valmistunut ajoissa. Myös viljat homehtuivat osittain pitkän ja sateisen kauden sekä myöhästyneen sadonkorjuun vuoksi. Lisäksi lannanlevityksessä on ollut pitkien sadejakson vuoksi ongelmia.

Lumipeitteen vähentyminen ja pitkät auringottomat jaksot ovat myös olleet haasteena maataloudelle. Syyskylvön kasvit kuten ruis kärsivät talven ohuesta lumipeitteestä. Peltojen peittäminen suojausharsoilla on liian kallista ja kustannukset korkeita hyötyyn nähden. Ilmastonmuutoksen myötä on voitu kokeilla uusia viljelykasveja kuten maissia, jonka viljelykokeilut on aloitettu.

Metsävahingot viimeaikaisissa isoissa myrskyissä olleet mittavia. Myrskyt tuovat metsään myös tuholaishyönteisiä kuten esimerkiksi koloradonkuoriaisia. Myös sähköongelmia esiintyy maataloudessa myrskyjen lisääntyessä. Ongelmiin on varauduttu sähkögeneraattoreilla, jotka toimivat polttoaineella, ja näin ollen pitemmistä sähkökatkoista on selvitty varasähköllä. Noin puolet maataloustuottajista on nykyään mukana varallaolojärjestelmässä. Heille on tarkoitus järjestää koulutuksia luonnonkatastrofeista ja ilmastonmuutoksesta lähiaikoina.

ILMASTONMUUTOKSEN VAIKUTUKSET VESISTÖIHIN

Järvi-Suomelle tunnusomaista ovat runsaat järvet ja kauniisti vaihteleva maisema. Alueena Järvi-Suomi kattaa Suomen pinta-alasta noin neljänneksen. Järvi-Suomen alueella ovat suuret järvet Suur-Saimaa, Päijänne, Pielinen, Iso-Kalla, Keitele, Iso-Längelmävesi sekä Puulavesi. Etelä-Savon kokonaispinta-alasta neljäsosa on vettä ja rantaviivaa on noin 30 000 kilometriä. Lähes kaikki Etelä-Savon taajamat sijaitsevat vesistöjen rannoilla. Maakunnassa sijaitsee noin 45 000 loma-ajan asuntoa ja määrällisesti katsottuna se on toiseksi suurin mökkimaakunta Suomessa. Vesistöt tarjoavat erilaisia ekosysteemipalveluja kuten ravintoa, virkistymistä, puhtaita vesiä ja myös laadukkaita pohjavesiä. (Heiskanen ym. 2017)

Ilmastonmuutoksen vaikutukset vesistöissä johtuvat lämpötilan vaihtelusta. Ilmaston uskotaan lämpenevän Suomessa vuosisadan loppuun mennessä 2–6 astetta. Suomalaisessa ilmakehänmuutosten tutkimusohjelmassa (SILMU) tehdyn arvion mukaan vesistöjen pintalämpötila voi nousta 1–2 astetta vuoteen 2050 mennessä. Lämpötilojen vaihtelulla on erilaisia vaikutuksia esimerkiksi veden happitasoon, hapetuspelkistyspotentiaaliin, järvien kerrostuneisuuteen, veden sekoittumiseen ja eliöiden kasvuun. Vesistöjen lämpötilan kohotessa leväkukinnot sekä bakteeri- ja sienipitoisuudet kasvavat. Nämä edellä mainitut asiat vaikuttavat myös veden laatuun, kalakantoihimme sekä ihmisten terveyteen. On arvioitu, että Suomessa sademäärät voivat lisääntyä ilmastonmuutoksen vuoksi vuosisadan loppuun mennessä kesällä 0–20 % ja talvella 10–40 %. Runsas sademäärän kasvu on riski vesistöjen vedenlaadulle. Lisääntynyt sadanta huuhtoo pelloilta, teiltä ja taajamista veteen enemmän ravinteita, haitallisia aineita sekä taudinaiheuttajia ja täten alentaa myös veden laatua sekä kuormittaa vesilaitosten puhdistuskapasiteettia. (Ilmasto-opas 2017)

Ilmastonmuutoksen seuraukset kohdistuvat myös eri tavoin kalalajeihin. Lämpimän veden lajit hyötyvät ja kylmän veden lajien tuotantoedellytykset heikkenevät (kuva 2). Lämpötilan nousu pidentänee kalojen kasvukautta. (LUKE 2017)



KUVA 2. Kalalajit sekä hyötyvät että kärsivät ilmastonmuutoksesta (kuva Aki Taavitsainen).

Veden laatu heikkenee myös pitkien kuivuusjaksojen vuoksi. Ilmaston lämpeneminen voi lisätä kuivien päivien määrää Suomessa. Alentunut vedenkorkeus yhdessä lisääntyneiden ravinnepitoisuuksien ja suuremman sedimenttimäärän kanssa heikentää pohja- ja pintavesien laatua. Kuivuus vähentää luonnossa jokien ja purojen normaaleja virtaamia, jolloin sisäisen kuormituksen vaikutuksesta veden laatu huononee ja myös veden hapen määrä vähenee.

Kuivina jaksoina myös pohjaveden pinta laskee. Veden rauta- ja mangaanipitoisuudet voivat nousta veden happitilanteen muuttuessa. Happikato voi johtaa myös ammoniumin, orgaanisen aineksen, metaanin ja rikkivetykaasujen esiintymiseen, joka voi tehdä vedestä pahanmakuista ja haisevaa. Kuivuus voi lisäksi vaikeuttaa riittävän ja hyvälaatuisen talousveden saantia. (Ilmasto-opas 2017)

MIKKELIN VESILAITOKSEN JOHTAJA REIJO TURKIN HAASTATTELU

Vesilaitoksen johtaja Reijo Turkin mukaan olosuhteet ovat muuttuneet merkittävästi viime vuosien aikana ja eri vuodenaikoina. Talvet ovat pilvisiä, monesti hyvin sateisia ja vaihtelevia olomuodoiltaan.

Sähkö on vedenjakelun tärkein edellytys. Ilman sähköä ei voi pumpata vettä vesitorneihin eivätkä jätevesipumputkaan toimi. Monesti sähkökatkot aiheuttavat myös ongelmia vedenjakelun ohjausjärjestelmien käytössä. Myrskyn kaatamat puut, alijäähtynyt vesi tai tykkylumi sähkölinjoilla ovat tyypillisempiä sähkökatkosten aiheuttajia eri vuodenaikoina. Sähkökatkoihin on varauduttu Turkin mukaan viime aikoina entistä paremmin. Viranomaisten yhteistyötä on kehitetty ja lisätty myrskyjen ja hulevesitulvien aikana. Lisäksi koulutusta ja tiedotusta on ilmastonmuutoksen ja ääri-ilmiöiden vuoksi lisätty.

Huleveden aiheuttamat tulvat ovat viime vuosia ilmastonmuutoksen johdosta merkittävästi lisääntyneet. Tämä johtuu Turkin mukaan siitä, että lämpenemisen johdosta veden luonnollinen kiertonopeus kasvaa. Huuhtoumat kasvavat ja niin myös humuksen määrä lisääntyy. Tämä johtaa siihen, että varsinkin pintaveden mutta myös tekopohjaisien laitosten raakaveden laatu heikkenee.

Pitkään jatkuvana kuivana jaksona pohjaveden pinta alenee ja samalla sen laatu heikkenee. Kuivina ja kuumina jaksoina kotitaloudet käyttävät vettä normaalia enemmän, ja veden saatavuus vähenee.

JOHTOPÄÄTÖKSET

Ilmastonmuutos on osa suurta ja vaikeaa ympäristö- ja kestävyysongelmien vyyhteä. Sen ratkaisut edustavatkin kestäväen kehityksen mukaista elämäntapaa. Pystyäksemme ratkaisemaan suuria kestävyysaasteita, meidän on tunnettava juuri tuon kyseisen ongelman syyt ja löydettävä parhaat ratkaisumallit.

Ilmastonmuutoksen hillitseminen vaatii siirtymistä kohti vähähiilistä tai hiilineutraalia taloutta. Tämän saavuttaaksemme tarvitsemme valtioita, kuntia, politiikkoja, yrityksiä ja kansalaistoimijoita. Tällainen yhteiskunnallinen muutos saadaan tekemällä ratkaisuja ja vie-

mällä niitä käytäntöön lainsäädännön, tukien ja verotuksen, hyvän yhdyskuntasuunnittelun, tutkimuksen ja uusien tuotteiden ja palveluiden kehittämisen avulla. Lisäksi ilmastoasioita pitäisi jatkuvasti tuoda esiin eri yhteyksissä. (Open ilmasto-opas 2017)

Ilmastonmuutos koskettaa koko ihmiskuntaa. Kasvihuonekaasut leviävät koko maapallon ilmatilaan ja aiheuttavat muutoksia kaikkialle. Siksi ilmastonmuutoksen hidastamiseksi tarvitaankin globaaleja ja sitovia sopimuksia. Tähän mennessä YK on ollut sopimusten laatimisen vetäjänä, mutta itse sopimukseen kaikki eivät ole sitoutuneet. Jokainen valtio on loppujen lopuksi itse vastuussa omasta ilmastopolitiikastaan ja sen tulosten seurannasta. Suomen ilmasto- ja energiaohjelman mukaan päästöjä vähennettäisiin vähintään 80 % vuoteen 2050 mennessä. Uusiutuvien energialähteiden tavoitetaso on vähintään 60 %. (Edu.fi 2017)

LÄHTEET

Ilmasto-opas 2017. Saatavissa: <https://ilmasto-opas.fi/fi/ilmastonmuutos/vaikutukset/-/artikkeli/df8aa940-bfba-417a-ab28-350779abc995/veden-laatu.html>.

Heiskanen, A., Hellsten, S., Vehviläinen, B. & Putkuri, E. 2017. Ympäristön tila -katsaus. Ympäristö.fi. SYKE 21.3.2017.

Luke 2017. Luonnonvarakeskuksen artikkeli. Saatavissa: <https://www.luke.fi/tietoa-luonnonvaroista/kalat-ja-kalatalous/kalat-ja-muuttuva-ymparisto/kalat-kalastus-ilmastonmuutos>.

Luonnonvarakeskus LUKE 2017. Saatavissa: <https://www.luke.fi/tietoa-luonnonvaroista/maatalous-ja-maaseutu/maatalous-ja-ilmastonmuutos>.

Maa- ja metsätaloustuottajain keskusliitto MTK 2017. Saatavissa: <https://www.mtk.fi>.

Ilmasto-opas 2017. Saatavissa: <https://ilmasto-opas.fi/fi/ilmastonmuutos/vaikutukset/-/artikkeli/26223b8c-dc64-4e4b-96d7-de11cc56fb53/ilmastonmuutos-tuo-suomen-kotielintaloudelle-mahdollisuuksia-ja-haasteita.html>.

Open ilmasto-opas 2017. Saatavissa: <https://openilmasto-opas.fi/mika-ilmastonmuutos/>. Viitattu: 11.12.2017.

Edu.fi. 2017. Saatavissa: http://www.edu.fi/yleissivistava_koulutus/aihekokonaisuudet/kestava_kehitys/teemoja/ilmastonmuutos. Viitattu:11.12.2017.

METSÄNHOIDON SUOSITUSTEN DIGITAALINEN TRANSFORMAATIO

Kati Kontinen & Mikko Lampi

Tässä artikkelissa pureudutaan metsätalouden digitaaliseen transformaatioon metsänhoidon suositusten näkökulmasta. Digitaalinen transformatio tarkoittaa digitaalisen teknologian mahdollistamaa strategian ja kulttuurin muutosta. Tapio Oy:n ylläpitämät metsänhoidon suositukset ja niihin liittyvät prosessit ovat radikaalin uudistuksen kohteena. Samalla muutoksella pyritään luomaan uusia digitaalisia liiketoimintamahdollisuuksia, tehostamaan toimintaa ja tekemään asiat tehokkaammin. Metsänhoidon suosituksiin liittyvää transformatiotyötä on tehty yhteistyössä Tapio Oy:n ja Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulun maakunnallisen kärkihankkeen Metsä ja ympäristö – puhdas ja älykäs tulevaisuus puitteissa. Hanketta rahoittaa Etelä-Savon maakuntaliitto Euroopan aluekehitysrahastosta.

METSÄNHOIDON SUOSITUKSET

Suomalaisen kestävä metsätalouden kolme tukipilaria ovat metsälainsäädäntö, metsäsertifointi (PEFC ja FSC) sekä metsänhoidon suositukset. Metsäalan yhteiset suositukset ovat kansainvälisestäkin ainulaatuinen tapa varmistaa metsätalouden kestävyys, ja työhön osallistuu noin 25 organisaatiota. (Tapio 2014)

Metsänhoidon suositukset ovat osa kansallisen metsästrategian toteuttamista. Ne ovat informaatio-ohjauksen väline, jonka avulla neuvotaan ja kannustetaan aktiiviseen ja monipuoliseen metsien käyttöön. Metsänhoidon suositusten käyttäjiä ovat metsänomistajat ja metsäalan toimijat. Metsänhoidon suositukset ovat riippumattomia, tutkimukseen ja käytännön kokemukseen perustuvia kansallisia suosituksia, jotka kokoavat parhaat käytännöt ja vaihtoehdot metsien kestäväan käyttöön. (Tapio 2014)

Tapio Oy kehittää ja ylläpitää metsänhoidon suosituksia maa- ja metsätalousministeriön rahoituksella. Metsänhoidon suositusten kokonaisuus koostuu nykyisellään kahdeksasta julkaisusta, jotka ovat vapaasti ladattavissa pdf-muodossa internetistä ja saatavilla painettuna julkaisuna Metsäkustannuksen verkkokaupasta. Tällaiset julkaisumuodot eivät kuitenkaan ole enää nykypäivää. Tapion käynnistämässä digitaalisessa transformaatioissa kehitetään uudenlainen sisällönhallintajärjestelmä, jonne suositustieto koostetaan koneluettavassa ja järjestetyssä muodossa. Järjestelmään kehitetään myös nykyaikaiset rajapinnat palveluille ja muille järjestelmille. (Tapio 2014)

DIGITAALINEN TRANSFORMAATIO

Digitaalinen transformaatio on paljon enemmän kuin uusien teknologioiden hyödyntämistä. Se tarkoittaa teknologian mahdollistamaa strategista muutosta, digitaalisuuden integrointia liiketoiminnan kaikkiin osa-alueisiin lähtien liiketoiminnan toimintatavoista ja rakenteista aina asiakkaan saamaan lisäarvoon asti (Ebert & Duarte 2018, Matt ym. 2015).

Transformaatio muuttaa rutiineja, työpaikan rakenteita, raportointia, informaation jakamista, vuorovaikutusta asiakkaiden kanssa ja jopa kilpailua. Digitaaliseksi organisaatioksi kehittyminen vaatii enemmän kuin uusien teknologioiden hallintaa: on omaksuttava uusi kulttuuri ja ajattelutapa, jossa hierarkia vähenee ja uudet innovaatiot syntyvät verkostoissa. Transformaatiossa onnistuminen ei kuitenkaan ole itsestään selvää ja joidenkin lähteiden (muun muassa Gale & Aarons 2018) mukaan vain joka kuudes organisaatio kykenee saavuttamaan tavoitteensa.

Organisaatioiden on kyettävä samanaikaisesti harjoittamaan toimintaansa ja uudistumaan. Se asettaa strategisia haasteita. Muutosta ei voi toteuttaa vain projektina, vaikka projekti onkin hyvä tapa viedä sitä eteenpäin tai saattaa se alulle. On kuitenkin olennaista, että digitaalinen transformaatio ei ole IT-projekti, vaan koko organisaation kattava strateginen ja kulttuurinen muutos. Siten myös sitä edistävien projektien on edustettava organisaation toimintaa kattavasti.

Metsänhoidon suositusten näkökulmasta digitaalinen transformaatio tarkoittaa suositusten laatimisen ja päivittämisen prosessien uudelleen muotoilua, tiedon ylläpidon muuttumista sekä jakelukanavien muuttumista. Keskeisiä toimenpiteitä on kehittää digitaalisia kyvykkyyksiä ja prosesseja sekä kehittää niitä tukevaa digitaalista infrastruktuuria. Tähän vastataan muun muassa kehittämällä metsänhoidon suosituksia varten uudenlainen tietojärjestelmä, joka tukee uusia prosesseja ja arvonluontia. Metsänhoidon suositusten tarpeisiin rakennettavan järjestelmän keskeinen liiketoiminnallinen tavoite on tarjota nykyistä tehokkaampi, monikäyttöisempi ja kohdennetumpi mekanismi metsänhoidon suositusten hyödyntämiseen. Välillisenä tavoitteena on aktivoida passiivisia metsänomistajia metsäomaisuutensa hoitoon ja ylläpitoon.

NYKYTILAN JA TAVOITETILAN ANALYYSI

Metsänhoidon suositusjärjestelmän suunnittelun ensimmäisessä vaiheessa määritellään suositusten nykytila. Muutoksessa on hyvä tunnistaa ja pitää mielessä, mikä on suositusten tarkoitus. Nykyisten toimintamallien tunnistaminen auttaa myös ymmärtämään muutoksen kohdetta ja laajuutta. Nykytilan analyysin ja muutostarpeen pohjalta tuotetaan tavoitetilan analyysi. Kolmantena vaiheena suunnitellaan toimenpideanalyysi, eli analysoidaan, millaisia toimenpiteitä tehdään siirryttäessä nykytilasta tavoitetilaan. (Tapio 2018) Muutosprosessin

tavoitteena on toteuttaa toimintamalleja muuttava ratkaisu, jonka avulla metsänhoidon suosituksia 1) tuotetaan, 2) ylläpidetään, 3) hallitaan, 4) jaellaan, 5) hyödynnetään ja 6) jatkojalostetaan.

Sisällönhallintajärjestelmä mahdollistaa monografiamuotoisen dokumentin rakenteistamisen, rakenteisen tallentamisen sekä rakenteisten dokumenttiosien löydettävyyden ja osoitettavuuden jatko- ja hyödyntämistä varten. Rakenteinen tieto tarkoittaa, että tieto on jäsennetty ja sen rakenne on tunnettu ja kuvattu. Esimerkkejä määrämuotoisesta dokumentista ovat vaikkapa XML-tiedostot ja formaalisti jäsennellyt lomakkeet. Luonnollisella kielellä kirjoitetut kirjeet tai ohjeet eivät sen sijaan ole rakenteisia. Rakenteisuuden keskeinen höyty on, että tietoa voidaan käsitellä ja tulkita koneellisesti. Se puolestaan mahdollistaa entistä korkeamman automatisoinnin ja tiedon jalostamisen uudenslaisiin käyttötarkoituksiin.

Sisällönhallintajärjestelmällä on kaksi ensisijaista käyttötapaa: 1) haku- ja selauskäyttöliittymä loppukäyttäjille sekä 2) rajapinnat tietojärjestelmille ja sovelluskehittäjille. Molemmat käyttötavat perustuvat rajapintapohjaiseen arkkitehtuuriin, jossa joukko erikoistuneita mikropalveluita muodostaa suuremman arvoa tuottavan kokonaisuuden. Suunnitteluperiaatteen taustalla on ajatus, että järjestelmää on helppo laajentaa, mukauttaa ja uudistaa. Digitaalinen transformaatio on jatkuva prosessi, joten digitaalisen infrastruktuurin ja järjestelmien on palveltava tarvetta – ei toisinpäin.

Hakuliittymien kautta metsänhoidon suosituksista kiinnostuneet henkilöt voivat helposti ja tehokkaasti etsiä ja löytää tarvitsemaansa tietoa. Rakenteellinen tieto mahdollistaa täsmällisen tiedon esittämisen eikä käyttäjän tarvitse selata laajoja kokonaisuuksia löytääkseen haluamansa tiedon. Samalla tieto voidaan esittää kulloisenkin tarpeen mukaisessa muodossa ja yhteydessä. Rajapinnat puolestaan mahdollistavat helpon ja standardinmukaisen integroitavuuden muihin järjestelmiin sekä mahdollisuuden kehittää uusia palveluita olemassa olevien toiminnallisuuksien päälle. Ulkopuoliset järjestelmät ja sovelluskehittäjät hyötyvät metsänhoitosuosituksen saatavuudesta ja rakenteellisyydestä. Näin voidaan ajatella, että sisällönhallintajärjestelmä muodostaa digitaalisen alustan. Alustatalouden mukaisesti se luo positiivisia riippuvuuksia ja verkostovaikutuksia, jotka luovat uutta arvoa ja arvonluontipotentiaalia eri toimijoille. Rajapinnat mahdollistavat esimerkiksi sen, että metsänhoitosuosituksia voidaan tarjota upotettuna muihin palveluihin silloin, kun niiden käyttäjät tarvitsevat niitä. Lisäksi muut tietojärjestelmät saavat käyttöönsä aina uusimman suositustiedon ilman raskaita eräajoja tai manuaalista tiedon syöttöä.

Metsänhoidon suositusten löydettävyyks on keskeinen vaatimus sisällönhallintajärjestelmälle. Sen teknisen toteutuksen on tuettava ihmisille luonnollisia tapoja hakea ja kuluttaa tietoa. Se ei kuitenkaan saa tarkoittaa sitä, että unohdetaan rajapinnat ja yhteentoimivuus koneiden kanssa. Ensi vaiheessa hoitosuosituksia voidaan hakea tekstihakuna, kuten toimitaan muun muassa hakukoneiden kohdalla, mutta pidemmän aikavälin kehityksen osalta järjestelmän

on tuettava luonnollista kieltä, kuten puheohjausta tai konenäköä. Esimerkki konenäöstä on hahmontunnistus. Sitä voidaan hyödyntää kameroiden avulla, jolloin suositustiedosta voidaan etsiä ja esittää kuvassa näkyvää maisemaa vastaava suositus. Mukaan voidaan liittää paikkatieto kuvatusta alueesta, jolloin hakua voidaan jalostaa metsävaratiedolla ja asiakastiedolla.

Metsänhoitosuosituksen asiakasarvo perustuu suositusten oikeellisuuteen, saatavuuteen, informaation ymmärrettävyyteen, löydettävyyteen sekä suositusten jatkojalostamisen mahdollisuuteen. Tavoitetilassa pääasiallinen käyttömalli perustuu selaimella käytettävään verkkosovellukseen tai päätelaitteen sovellukseen. Jatkossa metsänhoidon suositustietoa voidaan hyödyntää ja jatkojalostaa koneellisesti. Lisäksi tiedon avulla voidaan tuottaa uusia ja innovatiivisia palveluita ja hyödyntää rajapintojen ympärille muodostuvaa ekosysteemiä. Tulevaisuudessa lisäarvoa syntyy vuorovaikutteisuuden kasvusta, tehostuneesta jakelusta sekä ajantasaisuudesta. Tiedon hyödyntäminen ei ole enää sidottu aikaan, paikkaan tai olosuhteisiin. Tiedosta voidaan tuottaa asiakaskohtaisia näkymiä ja versioita sekä uusia arvoa tuottavia palveluita. Tulevaisuudessa muutos tapahtuu yhtä lailla omassa toiminnassa kuin sidosryhmien toiminnassakin, kun verkostomainen yhteinen arvonluonti muuttuu mahdolliseksi. Kun tiedonsiirto perustuu rajapintoihin, voidaan tiedon käyttöä mitata ja seurata. Käyttötiedon perusteella voidaan tehdä parempia palvelun kehittämistä koskevia päätöksiä, ennakoita ja optimoida toimintaa.

TOIMINTATAVAN MUUTOS

Muutoksen keskeiset osa-alueet voi kiteyttää neljäksi pääkohdaksi: 1) suositusten laatimiseen ja ylläpitoon, 2) tiedon löydettävyyteen ja käytettävyyteen, 3) lisäpalveluiden mahdollistamiseen ja 4) muutokseen investoimiseen. Suositusten laatimisen ja ylläpidon toimintatapa muuttuu merkittävästi. Suurista kertajulkaisuista siirrytään jatkuvan julkaisun ja päivittämisen malliin. Tällöin on huomioitava sisällöntuottajien osallistamismallin muutos. Painopiste siirtyy kirjamuotoisesta tuottamisesta rakenteisen informaation ylläpitoon, jolloin päivytysprosessi, tiedonhallinta- ja ylläpitoympäristö sekä jakelu muuttuvat nopeammaksi ja ketterämmäksi. Samalla näihin toimintoihin liittyvät työkalut kehitetään tukemaan muutostarpeita.

Tiedon löydettävyyden ja käytettävyyden osalta on keskeistä kyky yhdistää tunnistettu metsänhoidollinen tarve ja siihen soveltuva metsänhoidon suositus. Suositustiedon tulee olla helposti saatavissa. Rakenteisessa muodossa suositustietoa on mahdollista pilkkoa helpommin löydettäväksi ja saavutettavaksi. Loppukäyttäjille voidaan tarjota paremmin kohdistettuja suosituksia ja tietoa. Vastaavasti tehokas tiedonhakumeکانismi on keskeinen arvoa lisäävä tekijä. Eri tarpeisiin soveltuvat haku- ja selaustoiminnot auttavat löytämään oikean tiedon oikeaan aikaan. Näin ollen suositustietoa voidaan hyödyntää paremmin ja tehokkaammin.

Lisäpalveluiden kehittämisen ja tuottamisen mahdollistaminen kolmansien osapuolten toimesta on keskeinen osa toimintatavan muutosta. Esimerkiksi jalostamalla suositustietoa edelleen voidaan tuottaa uudenlaista lisäarvoa tuottavia palveluita, jotka perustuvat useasta lähteestä rajapintojen kautta saataviin toimintoihin, kuten hakupalveluihin, ja suositustietoon. Palveluntarjoaja voi myös rikastaa tietoa asiakasdatallaan tai yhdistellä muita avoimen datan lähteitä. Olennaista on, että uudet palvelut voivat jatkossa syntyä ilman, että alustan ja rajapintojen kehittäjän tarvitsee suunnitella niitä etukäteen. Lisäpalveluiden muodostama ekosysteemi vaatii systemaattista työtä teknisellä tasolla rajapintojen parissa sekä liiketoiminnan näkökulmasta. Rajapintapohjainen alustatalous ravistelee perinteisiä kumppanuusmalleja, mutta mahdollistaa entistä nopeamman palvelukehityksen ja arvonluonnin.

Digitaalinen transformaatio tarkoittaa aina investointia digitaalisiin kyvykkyyksiin, infrastruktuuriin ja prosessien uudelleen suunnitteluun. Keskeinen investointi on metsänhoidon suositusten MHS-alusta. Se koostuu rakenteisen suositustiedon sisällönhallintajärjestelmästä sekä siihen liittyvistä rajapinnoista. Alusta tukee yllä kuvattuja muutoksia ja perustuu liiketoiminnan ja yhteistyömuotojen tarpeisiin.

TOIMINTATAVAN MUUTOKSEN MAHDOLLISUUDET

Metsänhoidon suositusten digitalisointi ja siihen liittyvä digitaalinen transformaatio tuottavat monenlaisia suoria ja epäsuoria hyötyjä. Käyttäjät saavat entistä tarkempaa, ajantasaisempaa ja oikea-aikaisempaa tietoa. Se mahdollistaa muun muassa paremman suunnittelun ja ennakoinnin, mutta myös luontoarvot voidaan huomioida entistä paremmin. Vastaavasti erilaisten metsänkäsittelymenetelmien vertailu helpottuu, kun käytössä on paikkatietoista metsävaratietoa. Etenkin epäsuoria mahdollisuuksia on vaikea ennustaa etukäteen. Digitaalinen innovaatio on luonteeltaan kombinatorista ja generatiivista, eli se rakentaa yhä uusia mahdollisuuksia, jotka perustuvat aiempiin kehityksiin. Uudet sovellukset, palvelut ja arvonluonti perustuvat alustojen ja rajapintojen kautta saataviin resursseihin kuten met-sänhoitosuosituksiin.

LÄHTEET

Tapio 2014. https://www.metsanhoitosuosituksset.fi/wp-content/uploads/2016/08/Metsanhoidon_suosituksset_Tapio_2014.pdf.

Tapio 2018. Metsanhoidon suositusten digitaalinen transformaatio.

Ebert, C. & Duarte, C. 2018. Digital Transformation. *IEEE Software* 35(4), s. 16–21.

Gale, M. & Aarons, C. 2018. Digital Transformation: Delivering on the Promise. *Leader to Leader* 2018(90), s. 30–37.

Matt, C., Hess, T. & Benlian, A. 2015. Digital Transformation Strategies. *Business & Information Systems Engineering* 57(5), s. 339–343.

HACKATHON INNOVAATIOALUSTANA

Mikko Lampi

Tässä artikkelissa pureudutaan tiiviisti siihen, mitä yhteiskehittäminen on ja miksi hackathonit ovat hyödyllisiä niin tapahtumina kuin innovaatioalustoinakin. Esimerkkinä analysoidaan marraskuussa 2017 järjestettyä Future Hack: Environment and Forestry Hackathonia, joka toteutettiin yhdessä Xamkin, IBM:n, Metsä Groupin ja Suomen ympäristökeskus SYKE:n kanssa. Hackathon toteutettiin Metsä ja ympäristö – puhdas ja älykäs tulevaisuus -hankkeen toimenpiteenä (kuva 1). Hanketta rahoittaa Etelä-Savon maakuntaliitto Euroopan aluekehitysrahastosta.



KUVA 1. Metsä ja ympäristö – puhdas ja älykäs tulevaisuus -hankkeessa järjestettiin kansainvälinen hackathon (kuva Ida Lilja 2017). Hanketta rahoittaa Etelä-Savon maakuntaliitto Euroopan aluekehitysrahastosta.

DIGITALISAATIO

Digitaalinen teknologia kehittyy nopeasti. Vaikutukset ovat laajoja ja muutosnopeus kasvaa jatkuvasti. Teknologian kehitys ei automaattisesti uhkaa perinteisiä aloja, mutta tuo mukanaan muutospainetta ja vaatii ymmärrystä siitä, mitkä asiat ovat muuttumassa, miten ja miten siihen pitäisi reagoida. Toisaalta digitalisaatio tukee kehitystä ja tarjoaa uusia mahdollisuuksia arvonluontiin esimerkiksi digitaalisten palveluiden kautta. Selvää on, että teknologian kehittyminen ja sulautuminen eri alojen arkeen vaatii uudenlaista moni- ja poikkialaista osaamista sekä jatkuvaa kehittämistä ja oppimista. Vaatimus kohdistuu organisaatioihin sekä niiden työntekijöihin mutta myös opiskelijoihin.

Muutos aiheuttaa usein epävarmuutta. Perinteistä suunnitteluvetoista kehittämistä on vaikea sovittaa yhteen tiedon puutteen, epävarmuuden ja monimutkaisten ilmiöiden kanssa. Sen sijaan kokeileminen tarjoaa keinoja oppia, tuottaa tietoa ja vähentää epävarmuutta. On helpompaa kehittää toimiva ratkaisu, kun on ensin kokeiltu vaihtoehtoja ja kerätty kokemusta. Erilaisia kokeilemisen tapahtumia, kuten hackathoneja, järjestetäänkin paljon Suomessa ja maailmalla. Yhteiskehittäminen on tapa kokeilla ja kehittää ottamalla mukaan sidosryhmiä kuten asiakkaita, kumppaneita tai vaikkapa opiskelijoita.

Xamk on hyödyntänyt avoimeen innovaatioon ja yhteiskehittelyyn pohjautuvaa ongelmanratkaisua ja digitaalisen teknologian tutkimusmatkailua jo vuosia. Lähtökohtana on oppia digitaalisuuden mahdollisuuksista ja sovelluskohteista sekä kokeilla ennakkoluulottomasti ja pienillä riskeillä. Yhdessä tekeminen rakentaa vuorovaikutusta ja kommunikaatiota eri sidosryhmien välille. Yhteistyötä voi rakentaa TKI-toiminnan ja sen sidosryhmien välille mutta myös opiskelijoiden ja sidosryhmien omien asiakkaiden ja kumppanien välille.

YHTEISKEHITTÄMINEN

Yhteiskehittäminen voidaan tiivistää useamman osapuolen yhteistyöksi, jossa on yhteinen tavoite. Se pohjautuu asiantuntijuuden, riskien ja resurssien hajauttamiseen ja toisaalta joukkoistamiseen. Esimerkiksi avoin lähdekoodi voi syntyä toisistaan riippumattomien asiantuntijoiden toimesta hajautetusti. Yksittäisen tekijän panos voi olla rajallinen, mutta massan kasvaessa lopputulos on huomattavasti suurempi. Avoin lähdekoodi onkin eräs parhaiten tunnetuista ja hyödynnetyistä yhteiskehittämisen muodoista. Resurssi voi yhteiskehittämisen näkökulmasta tarkoittaa aikaa, rahaa, tietoa, silmäpareja, erityisosaamista, kontakteja tai muuta vastaavaa, jolla on merkitystä tavoitetta kohti pyrkiessä.

Edellytyksiä onnistuneelle yhteiskehittämiselle on monia. Ensinnäkin tarvitaan aitoja mahdollisuuksia osallistua yhteiskehittämiseen sekä kokemuksia mahdollisuuksista. Se ei kuitenkaan vielä riitä, vaan mahdollisuuksien realisoituminen ja resurssien jakaminen vaativat sitoutumista yhteisiin tavoitteisiin ja toimintaan. Jaettujen resurssien konvergenssi

puolestaan vaatii aktiivista fasilitointia, avoimuutta ja läpinäkyvyyttä. Avoimuus synnyttää lisäksi luottamusta. On luonnollista ja hyväksyttävää, että eri tahoilla on toisistaan eriäviä tavoitteita. Esimerkiksi hackathoniin osallistuvat opiskelijat tavoittelevat usein opintopisteitä tai työmahdollisuuksia. Yritykset puolestaan kaipaavat tyypillisesti uusia ideoita, potentiaalisia työntekijöitä tai mainehyötyjä. Vastaavasti tutkimuslaitosten tavoite voi olla kiihdyttää innovaatiota ja tuoda eri osapuolia yhteen, jotta tutkimus- ja kehittämishankkeita voidaan viedä eteenpäin. Tavoitteiden suhteen kannattaa kuitenkin olla avoin. Läpinäkyvyys on reilua ja pienentää riskejä intressien konflikteista tai jopa riidoista.

Yhteiskehittäminen on lähtökohtaisesti joukkoistettua innovaatiota, kokeilemistä ja jopa käyttäjäinnovaatiota. Se sisältää siis lähtökohtaisesti riskejä ja hallinnan puutetta, jotka pitää hyväksyä. Vastaavasti innovaation erilaiset muodot vaativat erilaista lähestymistä ja erilaisten yhteiskehittämisen menetelmien soveltamista. Inkrementaalinen innovaatio vaatii usein tarkkaa tietoa toimialasta, käytetystä teknologiasta, toiminnan nykytilasta ja muusta vastaavasta. Radikaali innovaatio puolestaan voi syntyä ajattelemalla asioita uusista näkökulmista ilman niin sanottua menneisyyden taakkaa.

Parhailtaan yhteiskehittäminen tarjoaa nopean oppimisen ja kehittämisen sprintin. Oppiminen yhdessä on tärkeää, koska se tuottaa enemmän ja rikkaampaa tietoa. Nopea kehittäminen pakottaa kokeilemaan suunnittelun sijasta. Yhteiskehittäminen sitoo yhteen oppimisen ja kehittämisen. Se on siis ennen muuta keino oppia potentiaalisista ratkaisuisista ongelmiin sekä uusista mahdollisuuksista. Digitaalinen teknologia vauhdittaa kehittämistä ja tarjoaa välineitä. Yhteiskehittäminen on myös hyvä keino rakentaa vuorovaikutusta ja yhteyttä asiakkaisiin, kumppaneihin, opiskelijoihin ja muihin kiinnostaviin kohderyhmiin.

HACKATHON INNOVAATIOALUSTANA

Hackathon on laajasti sovellettu tapahtumaformaatti, joka soveltaa yhteiskehittämisen ja nopean prototypoinnin menetelmiä. Se on yleensä luonteeltaan lyhytkestoinen, mutta intensiivinen ohjelmointikeskeinen tapahtuma. Vaikka kirjoitankin siitä ensisijaisesti tapahtumana, se voi olla paljon enemmän. Perustelen myöhemmin artikkelissa, miksi se kannattaisi nähdä ennemmin alustana ja kuinka se liittyy laajempaan kokonaisuuteen.

Hackathonin ydinideana on, että joukko erilaisen taustan ja osaamisen omaavia kehittäjiä muodostaa tiimejä, jotka syventyvät vaikkapa viikonlopun ajaksi ennalta valittujen haasteiden pariin. Tavoitteena on tutkiskella, kehittää ja kokeilla erilaisia ratkaisuvaihtoehtoja. Ratkaisut ovat yleensä luonteeltaan niin sanottuja *proof of concept* -tasoisia toteutuksia. Se tarkoittaa, että tieto lähestymistavan soveltuvuudesta ja toteuttamiskelpoisuudesta ovat keskeisimmät tulokset. Samalla syntyy yleensä teknisiä tai visuaalisia demoja siitä, millaisia ratkaisut voisivat olla. Joskus on kuitenkin olennaisempaa kokeilla välineitä ja teknologioita. Esimerkiksi erilaisten käyttöliittymien kehittäminen voi auttaa hahmottamaan, miten laajen-

nettu todellisuus tai luonnolliseen kieleen perustuva puheohjaus voisivat toimia ja mihin ne soveltuvat. Syntyneellä ratkaisulla ei välttämättä ole sellaisenaan käyttöarvoa, mutta teknologiakokeilu voi tuottaa arvokasta osaamista ja uutta tietoa.

Vaikka hackathoneissa harvoin syntyy valmiita ratkaisuja, on niille selkeä tarve. Lyhytkestoinen kokeilu- ja kehittämissprintti on kustannuksiltaan edullinen tapa edistää ja kiihdyttää ideointia, kehittämistä ja oppimista. Hackathon voi tuottaa lyhyessä ajassa paljon uutta tietoa, osaamista ja vaihtoehtoja. Se voi luoda yhteistyömahdollisuuksia, houkutellessa osajia tai tehdä näkyväksi organisaation toimintaa. Eikä kehittäminen suinkaan pääty tapahtumaan. Hyvin suunniteltu hackathon on osa jatkumoa. Se on hyvin valmisteltu ja kiinnittyy organisaatioiden tavoitteisiin ja toimintaan laajemminkin. Hackathonin jälkeen on pohdittuna jatkopolkuja ja varattu aikaa sekä muita resursseja hyödyntää ja analysoida tuloksia.

Se, mitä tapahtuu ennen ja jälkeen hackathonin on monesti yllättävän työlästä ja jääkin toisinaan liian vähälle huomiolle. Esimerkiksi ideoiden testaaminen todellisessa ympäristössä tai asiakaspalautteen kerääminen ei usein ole mahdollista hackathonin aikana. Muutenkin resurssit tapahtuman aikana ovat niukat. Tulosten analysointi ja kokonaisvaltainen arviointi on myös vaikeaa lyhyessä ajassa. Jatkokehittämiselle ja tulosten purkamiselle olisi syytä varata riittävästi silmäpareja, aivokapasiteettia sekä aikaa. Näiden syiden vuoksi on hyvä tunnistaa, mihin formaatti soveltuu ja mihin ei.

Hackathon on ennen muuta digitaalisen teknologian tapahtuma. Siihen on kaksi syytä. Toinen on historiallinen ja johtuu siitä, miten ja millaisessa alakulttuurissa se on syntynyt. Alun perin hackathonit olivat koodaustapahtumia, joissa osaajat työskentelivät yhteisen tavoitteen eteen tai kilvoittelivat haasteiden ratkaisuisissa. Niitä hyödynnettiin myös orastavassa startupkulttuurissa. Toinen, mielestäni tärkeämpi syy digitaalisuudelle on sen mahdollistava rooli. Sovelluksia on helpompi kehittää nopeasti toisin kuin fyysisiä ominaisuuksia omaavia tuotteita ja palveluita. Dataa on helppo hyödyntää digitaalisessa muodossa, rajapintojen kautta saadaan käyttöön kyvykkyyksiä, käyttöliittymiä on nopea kehittää ja kokeilla ja niin edelleen. Lopputuloksena toimiva sovellus tai sen visuaalinen prototyyppi on helposti hahmotettavissa verrattuna esimerkiksi palvelukonseptiin tai bisnesmalliin, jota ei ole toteutettu sen pidemmälle. Ratkaistavat haasteet ja niiden ympäristöt ovat kuitenkin usein monimutkaisia ja moniulotteisia. Sen takia pelkällä sovellusosaamisella ei vielä päästä pitkälle. Mukaan tarvitaan aina substanssiosaamista, bisnesosaamista, muotoilua ja muuta osaamista. Selvennän tätä näkökulmaa vielä esimerkin kautta seuraavassa osiossa.

Xamkissa on panostettu jo useiden vuosien ajan hackathonpohjaisten innovaatiokyvykkyyksien kehittämiseen. Se on yksi useista yhteiskehittämisen keinoista ja tarpeellinen alusta innovaatioekosysteemiä rakentaessa. Innovaatioalustojen keskeinen tehtävä on tuoda yhteen erilaisia resursseja ja tarjota mahdollisuus niiden hyödyntämiselle. Avoin innovaatio

on toimiva malli jäsentää hackathonin toimintaa. Tarpeen vaatiessa muutkin mallit ovat mahdollisia. Avoimuuden aste on sovittavissa ja päätettävissä tarpeen mukaan. Aluekehittäjänä ja julkisen rahoituksen kautta tehtävässä TKI-työssä avoin innovaatio kuitenkin palvelee tarpeita parhaiten ja tuottaa haluttuja tuloksia.

FUTURE HACK – ENVIRONMENT AND FORESTRY HACKATHON

Xamk järjesti syksyllä 2017 yhdessä IBM:n, Metsä Groupin ja Suomen ympäristökeskus SYKE:n kanssa Future Hack -innovaatiotapahtuman, joka on osa Metsä ja ympäristö – puhdas ja älykäs tulevaisuus -hankkeessa kehitettyä innovaatioalustaa. Tässä osiossa sitä tarkastellaan sekä innovaatioalustana että tapahtumana, ja tuodaan konkreettisia esiteltyjen käsitteiden ympärille.

Future Hackin ytimessä olivat digitaaliset palvelut ja innovaatiot metsätaloudessa ja ympäristön monitoroinnissa kansalaishavaintojen avulla. Se toimi samalla pilottina innovaatioalustan toiminnasta TKI- ja korkeakouluympäristössä. Metsä Group ja SYKE tarjosivat kehityshaasteita, dataa ja substanssiosaamista alustan käyttöön. IBM toimi teknologiakumppanina ja mahdollisti Watson-tekoälykyvykkyyksien hyödyntämisen Bluemix-kehitysalustansa kautta. Lisäksi se tarjosi asiantuntijoita ja mentorointia alustan käyttöön. Xamkin rooli oli alustan tarjoamisen lisäksi myös omien resurssien, kuten opiskelijoiden, asiantuntijoiden ja fasilitoinnin, tarjoaminen. Kuten aiemmissa osioissa tuotiin esille, innovaatioalustan keskeinen tehtävä on tuoda yhteen resursseja ja mahdollistaa niiden tehokas hyödyntäminen.

Matka kohti hackathonia alkoi jo kuukausia ennen itse tapahtumaa. Jos hackathonista puhuttaisiin vain irrallisena tapahtumana tämä osuus jäisi vähälle huomiolle. Kumppanien sitoutuminen alustaan ja vastaavasti alustan kehittäminen yhteistyön tarpeisiin vaatii huolellista pohjustamista. Jokaisen kumppanin kanssa käytiin keskustelua siitä, millaisia tavoitteita heillä on ja millaiseen kehittämiseen se liittyy. Yhteiskehittämisessä on tärkeää, että tavoitteet ovat yhteneväiset ja linjassa keskenään. Tavoitteiden kautta haarukoimme alustalle tuotavia haasteita sekä niihin liittyviä tarpeita.

Dialogin käymiseen toimijoiden kesken on hyvä varata riittävästi aikaa. Usein haasteen ja sen kontekstin hahmotteluun menee aikaa itsessään ja siihen päälle tarvitaan usein selvityksiä käytettävissä olevasta ja tarvittavasta teknologiasta, datasta, kumppaneista, aineistoista, oikeuksista ja muusta vastaavasta. Monesti kysymyksiä nousee lisää matkan aikana ja on hyvä ehtiä muotoilemaan haasteista selkeitä kokonaisuuksia. Jokaisesta haasteesta muotoiltiin noin parin sivun mittainen kuvaus, joka toi esiin kehittämisongelman, tavoitellun ratkaisun sekä tausta-aineistoa rakentamaan ymmärrystä haasteesta. Hyvä haaste on selkeä, mutta ei rajoita ratkaisua ja lähestymistapaa liikaa.

Tyypillisiä haasteita ovat joko lunastamattomia mahdollisuuksia tai ratkaisemattomia ongelmia. Yleensä ratkaisuvaihtoehdoista on ajatuksia, mutta ei yhtä oikeaa vastausta. Muotoilu on tasapainottelua liikkumatilan ja määrittelyn tarkkuuden välillä. Pyrimme tietoisesti välttämään omien ennako-oletusten vaikuttamista siihen, millainen ratkaisu haasteeseen olisi hyvä. Halusimme samalla nähdä, millaisia teknologioita osallistajat näkisivät mahdollisina. Sekä ideoiden laatu että määrä olivat kiinnostavia. Riittävän monta ideaa takaa, että jotkut niistä ovat varmasti sovellettavissa sellaisenaan tai osittain. Ideoiden olisi kuitenkin oltava riittävän pitkälle kehiteltyjä, jotta niistä on hyötyä ja niitä voidaan arvioida.

Haasteet jakautuivat kolmeen teemaan: 1) informaatiomuotoilu ja visualisointi, 2) tekoäly, analytiikka ja dataan perustuva arvonaluonti sekä 3) liiketoiminnan muotoilu. Metsä Groupin haasteet liittyivät ennen muuta tekoälyn ja analytiikan hyödyntämiseen ja tiedon visualisointiin. Metsä Group oli kiinnostunut tekoälyn mahdollisuuksista kunnostusojituksen suunnittelussa, metsänhoitotoimenpiteiden vaikutusten visualisoinnista sekä tekoälyavustajasta, joka auttaa metsänomistajaa tekemään valistuneempia päätöksiä. SYKE:n haasteet puolestaan kytkeytyivät Secchi3000-vedenlaadunmittausjärjestelmän kehittämiseen useasta eri näkökulmasta.

Kiinnostavia näkökulmia olivat muun muassa konenäön hyödyntäminen mittausten analysoinnissa, tulosten datavisualisointi ja liiketoimintamallin kehittäminen järjestelmän ympärille. Lisäksi halusimme tarjota avoimen haasteen, jossa osallistajat voivat itse määrittellä, mikä on heidän mielestään aihealueeseen liittyvä ratkaisemisen arvoinen ongelma. Sen edellytyksenä oli luonnollisesti, että tiimin oli kyettävä perustelemaan valintansa. Samalla avoin haaste mahdollisti useamman haasteen yhdistelyn. Useinkaan idea ei rajoitu vain yhteen osa-alueeseen ja emme halunneet asettaa liikaa esteitä vaan sallia avointa ja vapaata ideointia. Yllättävät tulokset olivat yhtä lailla kiinnostava lopputulos.

Haasteiden linjaamisen ja hahmottamisen jälkeen seuraava askel oli kartoittaa tausta-aineisto, kuten käytettävissä oleva data ja kontekstin kuvaukset. Lisäksi kartoitimme Xamkin asiantuntijoiden ja IBM:n ratkaisuarkkitehtien kanssa soveltuvia teknologioita. Pohdimme, millaisia kyvykkyyksiä tarvitaan, jotta datasta voi muodostaa visualisointeja tai käyttää sitä tekoälypalvelujen pohjana. Selvitys oli iteratiivinen prosessi, jossa välineiden hahmottaminen nosti esiin uusia kysymyksiä muun muassa tarvittavasta datasta. Lähtökohtana oli, että hackathonin osallistujien aika kuluisi ongelmien ratkaisemiseen ja ideoiden kehittämiseen kohti konsepteja eikä datan valmisteluun, teknologian etsimiseen tai muuhun valmistelemaan työhön. Samalla pystyimme ohjaamaan potentiaalisia ratkaisuja kohti sellaisia vaihtoehtoja, jotka olisivat helpommin hyödynnettävissä. Esimerkiksi IBM:n asiantuntijat kartoittivat valmiiksi Watson tekoälykyvykkyyksiä ja valmistelivat Bluemix-pilvipalveluun kehitysympäristöjä osallistujille. Hyödynsimme myös Xamkin paikkatietoympäristöjä sekä siihen liittyvää asiantuntemusta. Innovaatioalustan keskeinen tehtävä on tarjota resurssit, kuten data, teknologia ja asiantuntijat, helposti hyödynnettävässä muodossa.

Tapahtuman brändäys ja markkinointi oli myös tärkeää. Halusimme houkutella mukaan motivoituneita opiskelijoita, joilla on tahtotila ratkaista ongelmia ja oppia aiheesta. Lisäksi tapahtuman oli kiinnityttävä TKI-toimintaan ja taustalla olevan hankkeen tavoitteisiin.

Huolellinen valmistelu kantoi hedelmää ja tapahtuma houkutteli noin kuusikymmentä eri alojen opiskelijaa Xamkista. Koulutusaloista edustettuina olivat ympäristötekniikka, metsätalous, tietojenkäsittely, tietotekniikka ja liiketalous. Monialaisuus on osoittautunut erittäin tärkeäksi menestystekijäksi hackathoneissa niin tulosten kuin tiimien menestyksen kannalta. Haasteet edustivat sekä hankkeen että kumppanien tarpeita. Ongelmakenttä oli moniulotteinen ja monimutkainen, ja vaati teknologiaosaamisen, muotoilun ja substanssi-asiantuntemuksen yhdistämistä. Näistä aineksista muodostui yhteensä kaksitoista tiimiä, jotka kisasivat parhaasta ratkaisuehdotuksesta eri haasteisiin.

Varsinainen hackathon oli kestoltaan noin kaksi vuorokautta. Tapahtuman avauksena järjestettiin torstaina 16.11 aihetta valottava avoin miniseminaari. Kumppanit esittelivät kehitystyötään, strategisia tavoitteitaan, teknologioita sekä haasteiden taustoja. Seminaarin jälkeen osallistujat saivat käyttää seuraavat kaksikymmentäkuusi tuntia teknologian kokeilemiseen, ideointiin sekä konseptien kehittämiseen. Kumppanit sekä Xamkin asiantuntijat toimivat mentoreina ja sparraajina (kuva 2). Hackathonien henkeen tapahtuma jatkui läpi yön. Tarjolla oli myös kevyttä viihdettä sekä paljon kofeiinia. Kyse ei ole vain ankarasta työskentelystä vaan tavoitteisiin kuuluu, että yhteiskehittämisen kautta saavutetaan oppimista ja myös osallistujille jää jotain käteen.



KUVA 2. Hackathonin järjestäjiä ja kumppaneita miniseminaarissa. Kuvassa Mikko Lampi (Xamk), Hanne Soininen (Xamk), Timo Pyhälähti (SYKE), Kimmo Kaskikallio (IBM), Juha Jumppanen (Metsä Group), Tiina Tervaniemi (Xamk) ja Noora Talsi (Xamk) (kuva Juha Dahl).

Tapahtuman formaatti tukikin hyvin erilaisia työskentelytapoja. Osa tiimeistä varasi enemmän aikaa aiheen ymmärtämiseen ja keskusteluun, osa puolestaan päätti ryhtyä heti kokeilemaan teknologian mahdollisuuksia. Vastaavasti jotkin tiimit työskentelivät lähes koko yön ja toiset luottivat kunnan yöuniin ja kirkkaaseen konseptiin. Selvää oli, että parhaat ideat syntyivät ihmettelemällä, kokeilemalla ja yhdistämällä eri osaamisia.

Tapahtuman toisena päivänä tiimit esittelivät ratkaisuehdotuksiaan ja kehittämiään konsepteja raadille, joka koostui kumppanien edustajista sekä Xamkin TKI-ammattilaisista. Raadin tehtävä oli arvioida ideoita kriittisesti, mutta avarakatseisesti ja huomioiden erilaiset näkökulmat. Tehtävä ei ollut suinkaan helppo. Tavoitteena oli, että alustavan priorisoinnin kautta voidaan jo löytää jatkokehityskelpoisia aihioita sekä pohtia, miten ja kuka niitä voisi edistää.

Tuloksena innovaatioalusta synnytti kaksitoista erilaista konseptia siitä, miten digitaalinen teknologia ja muotoilu ratkaisevat metsätalouden ja ympäristömonitoroinnin haasteita. Ratkaisut olivat monipuolisia ja vaihtelivat metsätiedon visualisoinnista aina konenäköpohjaiseen vesinäyteanalyysiin. Raati valitsi kolme parasta ratkaisua – joskin kolmas sija oli jaettu kahden samankaltaisen konseptin kesken.



KUVA 3. IBM oli hackathonin vahva teknologiakumppani. Kuvassa IBM:n Kristoffer Ekström, Venkateswara Rao Sagineedun ja Marianne Luume (kuva Juha Dahl).

Ensimmäiselle sijalle kantoi tekoälykonsepti, joka toteuttaa metsän harvennushakkuiden suunnittelua sekä harvennettävien puiden merkkauksen koneoppimisen sekä laajojen kuva-aineistojen pohjalta. Konsepti oli mietitty käytännön toteutuksen, teknologian ja sen taloudellisten vaikutusten näkökulmasta. Tiimin jäsenet olivat metsätalouden, tietotekniikan ja liiketalouden opiskelijoita. Toiselle sijalle päätynyt konsepti oli tekninen demokonenäön hyödyntämisestä SYKE:n Secchi3000-vedenlaatumittauksissa. Tietojenkäsittelyn ja ympäristötekniikan opiskelijoista koostuva tiimi oli kehittänyt mobiilisovelluksen, joka opastaa näytteen analysoinnissa ja havainnollistaa tuloksia. Samalla se automatisoi näytteen ensivaiheen analysoinnin. Kolmannella sijalla oli kaksi tiimiä, jotka koostuivat metsätalouden opiskelijoista sekä yhdestä tietojenkäsittelyn opiskelijasta. He olivat kehittäneet käyttöliittymiä ja visualisointeja tukemaan metsänhoidon toimenpiteiden päätöksentekoa sekä vaikutuksia. Visuaalinen konsepti oli sovitettu Metsä Groupin Metsäverkkopalveluun ja se oli kohdennettu yksityishenkilöille tai muille ei-ammattimaisille metsänomistajille.

Loput kahdeksan konseptia sisälsivät kaikki hyviä ja kehityskelpoisia elementtejä, mutta eivät olleet niin vaikuttavia tai niin hyvin haasteisiin vastaavia. Kaiken kaikkiaan tulokset tarjosivat tuoreita näkökulmia tai laajensivat ja vahvistivat aiempaa tietoa. Vaikka hackathon tuottaa vain proof of concept -tasoisia tuloksia, ne ovat hyödyllisiä, kun uusia mahdollisuuksia kartoitetaan ja halutaan löytää uusia tapoja soveltaa teknologiaa ja dataa.

Kaikki palkintosijoille edenneet konseptit päättyivät tavalla tai toisella jatkokehitykseen. Metsä Group tarjosi heidän haasteisiin vastanneille tiimeille mahdollisuuden viedä konseptiä pidemmälle pientä korvausta vastaan. Se oli opiskelijoille ainutlaatuinen mahdollisuus näyttää taitojaan sekä hyötyä myös rahallisesti. Menestyminen hackathoneissa avaa usein ovia työelämään ja kartoittaa myös omia mielenkiinnon kohteita. SYKE tarjosi haasteeseensa vastanneelle tiimille niin ikään yhteistyömahdollisuutta. Hankkeen puitteissa tätä yhteistyötä voitiin jatkaa ja opiskelijoita tukea. Samalla tapahtuman kytkentä innovaatio toimintaan ja sen rooli alustana korostui. Kehittäminen ei pääty tapahtumaan, vaan tapahtuma toimi kokeilemisen sprinttinä.

Kevään 2018 aikana opiskelijatiimit valmistelivat liiketoimintasuunnitelmia ja pohtivat yritysten perustamista. Samalla he jatkoivat yhteistyötä SYKE:n ja Metsä Groupin kanssa. IBM:n kannalta suurin hyöty oli Watson-tekoälysovellusten ja Bluemix-kehitysalustan esittely Metsä Groupille, Sykelle ja Xamkille. Kokeilujen kautta sen hyödyntämismahdollisuudet ja helppokäyttöisyys nousivat esiin ja niitä voitiin demonstroida onnistuneesti. Yhteistyön pohjalta kyettiin muotoilemaan rahoitushakemuksia ja tuomaan jatkuvuutta esimerkiksi ympäristön monitoroinnin teknologioiden ja menetelmien kehittämiseksi.

Innovaatioalustoja kehittäessä täytyy muistaa IPR-käytänteet ja muut pelisäännöt. Ne luovat kumppaneille ja osallistujille reilun ja avoimen alustan. Lähtökohtaisesti kyse on avoimesta innovaatiosta, mutta kaupallisille toimijoille on varattava mahdollisuus sopia

kehittäjiä, eli tapahtuman osallistujien, kanssa oikeuksien siirtämisestä. Omistusoikeudet ja tausta-aineistojen julkisuus on myös sovittava etukäteen. Tässä tapauksessa sovimme, että kumppanien ja tiimien väliselle neuvottelulle varattiin kaksi viikkoa, jonka jälkeen tulokset julkaistaan avoimilla lisensseillä, ellei muuta sovittu. Tiimeille jäi oletusarvoisesti omistusoikeus, mutta käyttöoikeudet jaettiin. Kumppanien tausta-aineistot ja teknologiat olivat käytettävissä heidän määrittelemillään ehdoilla. Kaikki ehdot kerrottiin selkeästi ja avoimesti etukäteen. Innovaatioalustan omistajana ja fasilitaattorina Xamk toimi neutraalina osapuolena, joka yhdisti alustan eri toimijoita.

Alustan on kyettävä huolehtimaan sen synnyttämistä varhaisen vaiheen innovaatiosta tai ne ovat vaarassa näivettyä ja kuolla. Kehittäminen hautautuu helposti arjen tekemisen alle. Selkeä kasvupolku on tarpeen, jos halutaan, että esimerkiksi opiskelijatiimit perustavat yrityksiä tai muuten kehittävät konseptiaan eteenpäin. Tuki ja sparraus ovat avainasemassa. Tarvitaan myös tietoa kaupallistamisesta, idean suojaamisesta ja kumppanuuksista. Toinen polku on saattaa tiimejä yhteen alustan muiden toimijoiden ja kumppanien kanssa. Se vaatii aktiivista fasilitointia ja esteiden poistamista. Koulutusyhteistyö on hyvä keino, jos opinnäytetyö tai harjoittelu olisi sopiva polku. Kumppanit voivat tarvita konseptin kehittämisessä apua. Heidän kanssaan voidaan suunnitella yhteisiä kehittämishankkeita ja hakea uutta rahoitusta.

Kaikki jatkoväylät on hyvä tunnistaa ja viestiä selkeästi ja avoimesti. Organisaatiot toimivat kahdessa rinnakkaisessa moodissa. Toisen tehtävä on kehittää ja optimoida päivittäistä toimintaa ja toisen kartoittaa uutta. Monesti uuden kartoittaminen ja ideoiden jalostaminen innovaatioiksi tapahtuu päivittäisen bisneksen ehdoilla. Tällöin kaivataan yhteiskehittämistä ja verkostoja. Innovaatioalustat tarjoavat käytännön keinoja sen toteuttamiseen.

DIGIMETSÄ – SEMINAARIN JA TYÖPAJAN AVULLA KOHTI TULEVAISUUDEN DIGITAALISIA METSÄSOVELLUKSIA

Sinikka Mynttinen & Timo Partala

Digitalisaatio tekee vahvasti tuloaan metsäalalle. Mitkä ovat uusimmat suuntaukset? Miten digitalisaatiota pitäisi johtaa? Millaisia ovat tulevaisuuden sovellukset? Muun muassa näihin kysymyksiin vastatakseen Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu järjesti DigiMetsä-seminaarin ja työpajan 1.11.2018 Mikkelissä. Tapahtuma järjestettiin maakunnallisen Metsä ja ympäristö – puhdas ja älykäs tulevaisuus -kärkihankkeen puitteissa. Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulun hallinnoimaa hanketta rahoittaa Etelä-Savon maakuntaliitto Euroopan aluekehitysrahastosta.

Iltapäiväseminaarin aluksi luotiin katsaus metsäalan digitalisaation kehittämisen hyviin käytäntöihin, uusimpiin sovelluksiin ja alan tulevaisuudennäkymiin neljän seminaari-puheenvuoron avulla. Niiden innoittamina siirryttiin lopuksi ideoimaan tulevaisuuden uudenlaisia metsädigisovelluksia innovaatiotyöpajaan avoimen innovaation hengessä. Tapahtumaan osallistui noin 50 metsäalan tulevaisuudesta ja digitalisaatiosta kiinnostunutta henkilöä, joista yli puolet osallistui myös tilaisuuden päättäneeseen innovaatiotyöpajaan.

SEMINAARIN AVULLA KATSAUS METSÄALAN DIGITALISAATION TILAAN JA TULEVAISUUTEEN

Suomessa metsäalan digitalisaation kehitys on ollut viime vuosina nopeaa. Tämän on mahdollistanut avoin metsävaratietojärjestelmä ja tiedon siirrossa käyttöön otetut metsätietostandardit. Lisäksi sovelluksissa hyödynnettävät teknologiat kuten tehostuvat mobiiliverkot, sensorit ja etämittaukset, analytiikka ja tekoäly, tietoekosysteemit ja alustatalous, visuaalisatiot ja simulaatiot sekä automaatio ja robotiikka kehittyvät voimakkaasti. Kehityksen nopeus on johtanut Stora Ensossa uuden toimintamallin hyödyntämiseen teollisessa digitalisaatiossa. Stora Enson Head of Smart Operations Marko Yli-Pietilä esitteli lupaavaa digikehityksen kaksivaiheista mallia, jonka luonteeseen kuuluu paitsi riskinotto myös nopeus, uskallus epäonnistua ja kokeilukulttuuri (kuva 1).

Toimintamallissa keskeisessä roolissa ovat henkilöstön ideat, yrityksen toimintaan varaama digikehitysraha sekä tiimi, joka avustaa ideoiden kehittäjiä rahoitushakemuksen ja teknologisten kysymysten kanssa sekä ulkopuolisten kumppanien haussa. Noin 20 % ideoista etenee arvonmääritysvaiheesta arvontuottovaiheeseen ja näistä lopulta 2 % osoittautuu korkean hyödyn projekteiksi.



KUVA 1. Seminaarin keynote-puhuja Marko Yli-Pietilä korosti riskin ottamisen merkitystä teollisessa digitalisaatiossa (kuva Sinikka Mynttinen).

Metsä Groupin sähköisten palveluiden päällikkö Kalle Ikonen mukaan digitaalisuus on tuonut mukanaan mahdollisuuden parantaa merkittävästi metsäomistajien asiakaskokemusta erilaisten digitaalisten palveluiden kautta. Sähköisen puukaupan osuus on jo 40 %. Ikonen esitteli muun muassa virtuaalimetsä-sovellusta, joka tulee lähiaikoina tarjoamaan metsänomistajille mahdollisuuden liikkua metsässään kuviolta toiselle VR-lasien, verkkoselaimen tai kännykän avulla. Tulevaisuudessa etämetsänomistaja voisi ehkä tavata metsäneuvojankin virtuaalimetsässä. Tämä kaikki helpottaa metsäomaisuuden hoitoa myös pitkien matkojen päästä.

Jo pitkään kirjana ilmestyneet metsänhoidon suositukset toimivat tulevaisuudessa digitalisoituna päätöksentekisovelluksena. Tapio Oy:n johtava asiantuntija Kati Kontinen valmistelee metsänhoidon suosituksia ja vetää niiden digitalisointiprojektia. Digitalisaation myötä tiedot ovat paremmin löydettävissä ja käytettävissä. Lisäksi visualisoinnin avulla on mahdollisuus osoittaa, miten vaihtoehtoiset metsänkäsittelyt näkyvät maisemassa sekä mikä niiden vaikutus on metsän kehitykselle tulevaisuudessa. Kontisen mukaan kyseessä on myös toimintatapamuutos: uuteen tietoon perustuvan Metsänhoidon suositukset kirjan päivitys vie nykyisin vuoden. Sen sijaan uuteen järjestelmään on mahdollisuus tehdä muutoksia suoraan sähköisesti.

Metsäteho, joka on Suomen johtavien metsäteollisuusorganisaatioiden omistama tutkimus- ja kehitystyöhön erikoistunut yritys, on arvioinut digitalisaation hyötyjen olevan metsäalalle noin 100 miljoonaa euroa vuodessa. Puuhuollon näkökulmasta tutkimusjohtaja Jarmo Hämäläisen mukaan digitalisaatioissa on keskiössä nykyistä tarkempi maasto-, puusto- ja tietieto sekä tehokas eri tietolähteiden hyödyntäminen (Hämäläinen 2016).

Lähtökohtana ovat avoin data ja sen käytön pelisäännöt, joista on jo sovittu hyvin laajasti metsäalan toimijoiden kesken. Hämäläisen mukaan metsäalan digitalisaatio on erittäin hyvässä vauhdissa ja jatkossa pääpaino tulee olemaan tuotteistamisessa. Hän esitteli useita uusia digitaalisia sovelluksia puuhuollon puolella kuten hakattujen kuvioiden automaattinen muodostus hakkuukonedatasta, maaston korjuukelpoisuusluokitus, korjuujäljen mittaaminen, tiestön kunto- ja kelitiedon tuottaminen joukkoistetuksi ja konenäöllä. Samalla hän totesi, että seminaarit ja työpajat ovat erittäin tarpeellisia ja ajankohtaisia ja peräänkuulutti yhä uusia sovelluksia. Niitä lähdettiinkin joukolla ideoimaan työpajaan, jota vetivät Innotiimi Oy:n Antti Miettinen ja Ari Väisänen.

INNOVAATIOTYÖPAJASSA KOHTI UUSIA DIGITAALISIA METSÄALAN SOVELLUKSIA

Innovaatiotyöpajan toimintaperiaatteeksi valikoitui avoin innovaatio (Chesbrough 2006). Avoimessa innovaatioissa yritykset ja muut organisaatiot etsivät kehittämissideoita oman organisaationsa ulkopuolelta, ja yhteistyö ulkopuolisten toimijoiden kanssa nähdään tärkeänä osana innovaatioprosessia. Järjestämässämme innovaatiotyöpajassa edistettiin erityisesti yritysten ja korkeakoulumme välistä yhteisinnovointia. Yhdeksi osallistujaryhmäksi valittiin opiskelijat hyvän uusimpien teknologioiden tuntemuksen vuoksi ja myös mahdollisina työpajassa syntyvien uusien ideoiden kaupallistajina uuden liiketoiminnan kautta. Työpajan 26 osallistujasta 14 olikin opiskelijoita.

Ideat tulevaisuuden metsädigisovelluksiksi alkoivat hautua jo ennen varsinaista työpajaa. Osallistujille annettiin tapahtuman verkkosivuilla suuntaa antavaa tietoa työpajan tarkoituksesta ja tämä tieto toistettiin seminaariviikossa osallistujille lähetetyssä muistutussähköpostissa. Myös tapahtuman aluksi osallistujia ohjeistettiin kuuntelemaan neljä seminaaripuheenvuoroa samalla miettien, millaisia uusia innovatiivisia sovelluksia voisi syntyä esiteltyjen kehityssuuntausten ja esimerkkisovellusten pohjalta.

Työpajassa osallistujat oli jaettu viiteen pöytäkuntaan (kuva 2). Työpajan vetäjien pitämän lyhyen johdannon jälkeen osallistujille esiteltiin innovointikysymys: Millainen on lähitulevaisuutemme mullistava digitaalinen sovellus metsäalalla? Jokainen osallistuja ohjeistettiin ensin innovoimaan nopeasti vähintään muutama nopeasti mieleen tuleva idea kriittisesti yksin keskustelematta pöytäoverien kanssa. Innovoinnin aikana valkokankaalle heijastettiin kuvia, joista saattoi tulla miellelyhtymiä uusiin innovaatioihin. Tämän jälkeen

eri osallistujien paperille kirjaamat ideat kierrätettiin pöydässä siten, että jokainen tutustui muiden samassa pöydässä olevien osallistujien keksimiin ideoihin ja jatkoi mahdollisesti muiden innovaatioita omilla täydennyksillään.

Keskustelun jälkeen jokainen pöytäkunta valitsi 3–4 parasta ideaa, joiden konsepteja suunniteltiin hieman pidemmälle ja niistä täytettiin innovaatiolomake, jossa punnittiin muun muassa ratkaisun ydinasioita (mistä ratkaisu koostuu), hyötyjä, tarvittavia resursseja ja avoimia kysymyksiä. Lisäksi lomakkeelle oli mahdollista lisätä ehdotetun sovelluksen konseptia, ulkonäköä tai käyttöliittymää havainnollistava piirros. Tämän jälkeen työpajan vetäjät jakoivat koko ryhmän kahteen osaan (noin 13 henkeä/ryhmä) ja innovaatiolomakkeille kirjatut ideat esiteltiin suullisesti muille tässä ryhmässä. Lopuksi innovaatiolomakkeet kiinnitettiin seinälle, ja jokainen kävi äänestämässä mielestään parasta ideaa.



KUVA 2. Työpajassa yritysten asiantuntijat innovoivat yhdessä Xamkin opiskelijoiden ja henkilökunnan kanssa (kuva Sinikka Mynttinen).

TYÖPAJAN TULOKSET JA JATKOKÄSITTELY

Innovaatioiden avoimuutta ja ulkopuolista hyödyntämistä edistettiin jakamalla kooste työpajan tuloksista kaikille työpajan osallistujille ja tekemällä työpajan tulosaineisto pyynnöstä saataville myös muille toimijoille. Työpajan tulokset koostuivat ideointivaiheessa paperille kirjatuihin raakaideoihin sekä ryhmässä pidemmälle suunnitelluista konsepteista. Tuloksiin kirjautui yhteensä 201 raakaideaa ja 15 työpajassa eteenpäin vietyä konseptia.

Raakaideat olivat yksinkertaisia kuvauksia mahdollisista sovelluksista ja joissain tapauksissa niiden pääasiallisesta hyödyistä tai sovellusalueesta. Osallistujien tuottamia raakaideoita olivat esimerkiksi ”Nopeasti päivittyvä karttaselain (satelliittikuvat)”, ”Lahokaikulaite”, ”Ohjelma, joka seuraa pölkkyjä koko kuljetusketjun ajan -> ei tule hukkaa” ja ”Motokuskeille ja opetukseen: Autonavigaattori-periaatetta soveltava hakkuukoneohjaus”. Työpajan aikana eteenpäin suunnitellut konseptit puolestaan liittyivät seuraaviin aihealueisiin:

- Metsän kokonaiskuvan tiedonhallintasovellus
- Lasernäkö rungon tutkimisessa
- Taimikonhoitorobotti + ohjelmisto
- Puuhun kiinnitettävät sensorit
- Drone-moto
- Puiden hiilitunniste
- Lintujen maapesät hakkuissa huomioiva ohjelma
- Metsätiedon ilmoittamisovellus
- Metsäalan kuljetusten tilausovellus
- Tuhojen simulointi
- Metsäneuvoja-mobiilisovellus
- Metsätökoneeseen kiinnitettävä kamera ja siihen liittyvät sovellukset
- Hakkuiden striimaus
- Pelillistetty metsäopetus
- Sensorit metsurille

YHTEENVETO

DigiMetsä-seminaarin tavoitteena oli antaa osallistujille tietoa uusimmista metsäalan digitalisaation suuntauksista, digitalisaation johtamisesta ja tulevaisuuden metsädigi-sovelluksista. Tapahtuman yhteydessä kerätyn palautteen perusteella seminaari onnistui näissä tavoitteissa hyvin ja myös puhujien erilaiset näkökulmat osoittautuivat hyödyllisiksi osallistujille. Erityisesti palautteissa mainittiin opittuna asiana se, että erilaista dataa on jo olemassa paljon ja metsäalan digitalisaatiossa ollaan vaiheessa, jossa ideoidaan ja kokeillaan uusia sovelluksia kiihtyvällä tahdilla.

Seminaariin liittyvän työpajan tavoitteena olikin tuottaa uusia ideoita ja kehittää konsepteja tulevaisuuden metsädigisovelluksille. Työpajan ideointitapa ja fasilitointi saivat positiivista palautetta ja työpajan osallistujat tuntuivat palautteen perusteella sisäistäneen seminaarin keynote-puhujan esittämän ajatuksen siitä, että digitalisaation edistämiseksi tehokkaasti tarvitaan nopeaa ideointia ja suuri joukko ideoita, joista lopulta vain pieni osa etenee arvontuottovaiheeseen.

LÄHTEET

Chesbrough, H. W. 2006. Open innovation: The new imperative for creating and profiting from technology. Harvard Business Press.

Hämäläinen, J. 2016. Kohti puuhuollon digitalisaatiota. Forest Big Data hankkeen päätuloksia. Metsätehon tuloskalvosarja 11/2016.

PIEN-CHP-TEKNOLOGIAN SOVELTUVUUS MAATILOILLE ETELÄ-SAVOSSA

Sinikka Mynttinen & Mika Laihanen & Antti Karhunen

Pienemmän kokoluokan yhdistettyyn sähkön- ja lämmöntuotantoon on kehitetty kaupallisia ratkaisuja sekä Suomessa että Keski-Euroopassa. Euroopan maaseuturahaston rahoittamassa Hajautettu energiantuotanto maatiloilla hankkeessa (2016–2018) selvitettiin tarkemmin puuhakkeen kaasutusteknologian laitteistojen toimintaedellytyksiä Etelä-Savon maatiloilla. Tyypillisesti pien-CHP-yksiköiden (*Combined Heat and Power*) sähköntuotantoteho on 30–40 kW ja lämmöntuotantoteho 80–100 kW. Hankkeen toteutuksen aikana yksi valmistaja toi markkinoille myös pienemmän kokoluokan pien-CHP-yksikön, jossa sähköteho on 9 kW ja lämpöteho 22 kW.

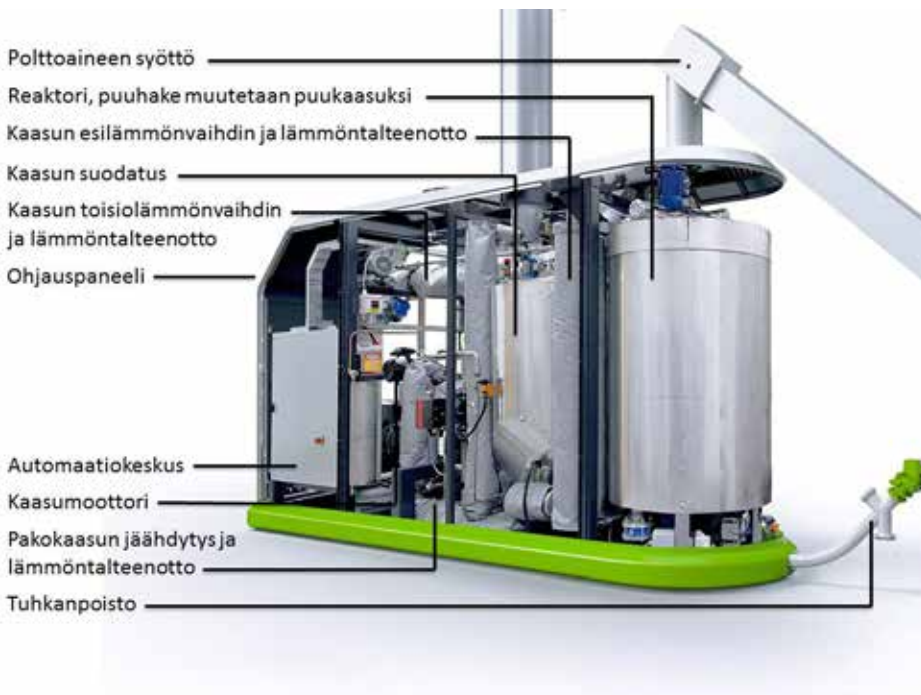
Hankkeen toteutuksessa oltiin yhteydessä Etelä-Savon maataloihin ja keskustelujen perusteella pien-CHP-ratkaisut kiinnostivat maataloja ja tiedotukselle uusista energiaratkaisuista on tarvetta. Toisaalta jokainen maatila on oma yksittäistapauksensa ja se on tarkasteltava erikseen. Tyypillisesti pien-CHP-yksiköiden (30/80kW) sähkön- ja lämmöntuotanto ylittää maatalojen energiankulutuksen, mutta erityisesti pienemmän kokoluokan yksiköille (9/22kW) on useita potentiaalisia käyttökohteita, ja tästä mahdollisuudesta toivottiin lisätietoa myös tulevaisuudessa. Isommat yksiköt soveltuvat paremmin esimerkiksi puutarhojen ja taajamien ulkopuolella olevien hotellien ja kylpylöiden tarpeisiin. Näissä isommissa kohteissa lämpöyrittäjyys voi avata uusia liiketoimintamahdollisuuksia haja-asutusalueelle. Kaikki hajautetun sähköntuotannon yksiköt parantavat huoltovarmuutta.

Kansainvälisellä ja kansallisella tasolla fossiilisten polttoaineiden hintojen nousu ja energiantuotannon ympäristökysymykset ovat lisänneet kiinnostusta hajautettuun energiantuotantoon uusiutuvilla paikallisilla polttoaineilla. Suomessa kiinnostusta on lisännyt erityisesti sähkön kokonaishinnan nousu. Maatalous- ja puutarha-alan yrityksissä sähkönkulutus on ollut viime vuosina kasvussa ja sähköstä on tullut merkittävä kustannustekijä. Kulutuksen kasvu johtuu tilakoon kasvusta, tuotantorakennusten tekniikan lisääntymisestä sekä myös valotetun kasvihuonetuotannon kasvusta. Vuonna 2016 maa- ja puutarhatalouden kokonaisenergian käytöstä sähkön osuus oli 15 % eli 1 727 GWh (Luke 2018). Teknologian kehittymisen myötä pienimuotoisen sähköntuotannon kilpailukyky on paranemassa esimerkiksi sähköä ja lämpöä tuottavissa pien-CHP-laitoksissa. Potentiaalisia kohteita pienen kokoluokan CHP-laitoksille on löydettävissä maatalaympäristöissä, joissa metsäbiomassaa on paikallisesti saatavilla ja sähkösaannin varmistaminen sähkökatkosten aikana on tärkeää.

Hankkeessa selvitettiin mahdollisuuksia käynnistää Etelä-Savossa maaseutu ympäristössä pienimuotoista metsäbiomassaan perustuvaa CHP-tuotantoa, jota alueella ei vielä ole. Hankkeessa tuotettiin uutta tietoa hajautetun energiantuotannon mahdollisuuksista ja innovatiivisista lähiratkaisuista kartoittamalla maatilojen kiinnostusta pien-CHP-laitoksen hyödyntämiseen omassa sähkön ja lämmön tuotannossa ja arvioimalla sen toimintaedellytyksiä sekä kannattavuutta Etelä-Savossa kolmen pilottiratkaisun avulla. Lisäksi tehtiin vertailuja pien-CHP-laitoksen toimintaedellytyksistä ja toiminnan laajuudesta muualla Euroopassa: Skotlannissa, Saksassa, Itävallassa ja Ruotsissa.

PIEN-CHP-TEKNOLOGIA

Tarkasteltavaksi pien-CHP-tekniologiaksi valittiin puun kaasutustekniologia, jossa tasa-laatuinen kuivattu puuhake kaasutetaan ja tuotettu kaasu poltetaan kaasumotorissa. Kaasuttimessa hake ensin kuivuu lisää, lämpenee, pyrolysoituu sekä osittain palaa ali-ilmalla. Kaasuttimen lämpötila on noin 950–1 050 °C. Tuotetusta kaasusta otetaan lämpöä talteen, minkä jälkeen kaasu virtaa suodattimeen, jossa puukaasusta erotetaan orgaaninen ja epäorgaaninen kiintoaine. Puhdistuksen jälkeen kaasun lämpötila on noin 60 °C. Puhdistetun kaasun ja ilman seos poltetaan kaasumotorissa, joka pyörittää generaattoria ja tuottaa sähköä. Useassa prosessin vaiheessa otetaan talteen lämpöenergiaa, joka voidaan hyödyntää esimerkiksi tilojen lämmityksessä sekä polttoaineen kuivauksessa. Kuvassa 1 on esitetty prosessin päävaiheet (Volter 2018).



KUVA 1. Biomassapohjaisen pien-CHP-laitteiston kuvaus (Volter 2018; 40 kW_e/100 kW_{th}).

Suomalaisen Volterin laitoksessa sähköteho on 40 kW_e ja lämpöteho 100 kW_{th}. Saksalaisella Spannerilla on useampia kokovaihtoehtoja, joista tähän tutkimukseen valittiin 35 kW_e ja 79,5 kW_{th}. Lisäksi tutkimuksen toteutuksen aikana syksyllä 2017 Spanner RE² toi markkinoille aiempaa pienemmän kokoluokan laitoksen, jossa sähköteho on 9 kW_e ja lämpöteho 22 kW_{th}. (Volter 2018, Spanner 2018A)

Vuotuinen hakkeen kulutus 40 kW_e:n laitoksella on noin 1 000 i-m³/v. Laitos pystyy käyttämään polttoaineena kaikkia puulajeja. Kun laitoksen käyttötunnit ovat 6 000 h/v, niin tällöin tuotetaan sähköä noin 180 000 kWh/v ja lämpöä 600 000 kWh/v. Kaasutusprosessin kannalta on välttämätöntä, että käytettävä hake kuivataan 8–15 %:n kosteuteen, jolloin tarvitaan keinokuivausta. Lisäksi hakkeen palakoko on oltava homogeeninen (noin 40 mm x 40 mm) eikä polttoaineessa saa olla hienoaainesta tai pitkiä tikkuja. Yleensä osa lämmöstä hyödynnetään hakkeen kuivauksessa, jolloin kuivauksen lämmöntarve on 20–30 prosenttia tuotetusta lämmöstä. Koska maatilan lämmöntarve on tyypillisesti pienempi kesällä, osa tuotetusta lämmöstä voidaan hyödyntää hakkeen kuivauksessa. Hakkeen kuivauksessa käytetään yleensä erillistä kontti-/lavakuivuria tai lattiakuivuria, joissa lämmintä ilmaa puhalletaan hakkeen läpi. Lattiakuivurin pohjalla on reikälevy ja kuivattavan hakepatjan korkeus on noin 0,5 metriä. Kuivausaika vaihtelee muutamasta päivästä viikkoon riippuen hakkeen lähtökosteudesta.

TOIMINTAYMPÄRISTÖ ERI MAISSA

Hajautetun energiantuotannon toimintaympäristöä selvitettiin Euroopan maissa (Ruotsi, Saksa, Itävalta, Skotlanti) ja selvityksen pohjalta tehtiin vertailua Suomen hajautetun energiantuotannon toimintaympäristöön. Saksassa ja Itävallassa puubiomassapohjaiselle sähkön tuotannolle on tarjolla syöttötariffi ja lisäksi sähkön kokonaishinta (sisältäen sähköenergia, siirto ja verot) on huomattavasti Suomea (noin 15 snt/kWh) korkeampi. Syöttötariffin johdosta pien-CHP-teknoologiaan perustuva tuotanto on näissä maissa lisääntynyt merkittävästi, ja toiminnassa on satoja laitoksia. Samalla on lisääntynyt myös aurinkoenergian käyttöönotto. Itävallassa syöttötariffin suuruus määräytyy laitoksen koon sekä kokonaishyötysuhteen perusteella. Iso-Britanniassa pien-CHP-laitoksia on toiminnassa noin 100 kappaletta. Myös Skotlannissa pien-CHP-laitosten käyttöönotto lisääntyi merkittävästi 2010-luvun puolivälissä. Laitokset saivat syöttötariffin tuotetulle sähkölle ja lämmölle, minkä johdosta tuotanto oli kannattavaa. Käyttäjiltä saadun tiedon mukaan tuet ovat heikentyneet viime vuosina, minkä vuoksi uusia yksiköitä ei ole juurikaan tullut. Ruotsissa on toiminnassa yksi pien-CHP-yksikkö. Tukijärjestelmä ei ole juurikaan kohdentunut pieneen kokoluokkaan. (Gissek 2017)

Suomessa ei ole syöttötariffia pienen kokoluokan sähköntuotannolle, vaan puusta tuotetulle sähkölle maksettavan syöttötariffin (83,50 €/MWh) alaraja on 100 kVA. Toisaalta Suomessa sähkön jakeluyhtiöt ovat velvoitettuja ottamaan vastaan pientuottajien tuottamaa

sähköä. Sähköstä maksettava korvaus on sähköyhtiön ja myyjän sovittavissa oleva asia, mutta käytännössä sähköstä maksettu korvaus on ollut 2–4 snt/kWh, joka on selvästi alhaisempi kuin kuluttajan sähköstä maksama kokonaishinta (energia, siirto ja verot). Tästä syystä pien-CHP-laitoksen tuottama sähkö kannattaa pyrkiä käyttämään maksimaalisesti omassa kulutuksessa. Pien-CHP-yksikölle on mahdollista saada investointitukea, jonka suuruus on 25–40 %.

Etelä-Savon maakunta on tunnettu laajoista metsävaroistaan ja metsävaroja voitaisiin hyödyntää myös pien-CHP-laitoksessa sähkön- ja lämmöntuotannossa. Pien-CHP-laitteistolle potentiaalinen polttoaine on pienpuu, koska hakkuutähteet ja kannot eivät täytä laitteiston polttoaineen laatuvaatimuksia. Selvitysten mukaan pienpuun teknistaloudellinen ja ekologinen saatavuus Etelä-Savossa on riittävä pienen mittakaavan biomassapohjaiseen sähkön ja lämmön tuotantoon, 769 021 MWh (Ollikainen & Vento 2012). Yhden pien-CHP-yksikön vuotuinen polttoaineen kulutus, 1 000 m³ haketta, vastaa 800 MWh/v. Tämä määrä voidaan helposti hankkia maataloille lähialueelta.

POTENTIAALISTEN KÄYTTÖKOHTEIDEN HAASTATTELUT JA WEBROPOL-KYSELY

Maaseutuvirastolta tilattiin tutkimustarkoitukseen maatalojen yhteystietoja Etelä-Savosta. Maatilarekisteristä pyydettiin poimimaan kasvinviljelytilat (> 10 ha), peltoviljelytilat (> 50 ha) ja eläintilat, joilla on vähintään 50 eläintä. Kriteerit täyttäviä maataloja oli kaikkiaan 566 kappaletta. Lisäksi pien-CHP-tuotantoon soveltuvia potentiaalisia puutarhayrityksiä oli yhteensä kuusi kappaletta Etelä-Savon alueella.

Haastattelu- ja kyselytutkimuksella selvitettiin Etelä-Savon maatalojen mahdollisuuksia pien-CHP-teknologian hyödyntämiseen kartoittamalla tilan tuotantosuuntia, sähkön- ja lämmönkulutusta sekä mahdollista omaa tuotantoa, energiapuun hankintaa, motivaatiota omaan sähköntuotantoon, esteitä investoida omaan sähköntuotantoon, tiedontarvetta metsäbiomassaan perustuvista energiaratkaisuista sekä kiinnostusta jatkoselvitysten tekoon pien-CHP-teknologian soveltuvuudesta omalla tilalla. Haastattelututkimukseen osallistuneet tilat (35 kpl) valittiin peltopinta-alan tai tuotantoeläinten lukumäärän perusteella suurimpien tilojen joukosta. Maatilat edustivat maidontuotantoa, lihakarja-, sika- ja siipikarjatiloja, avomaan kasvistuotantoa ja viljanviljelyä. Lisäksi haastatteluun otettiin mukaan pien-CHP-tuotantoon soveltuvia potentiaalisia puutarhayrityksiä, joissa yhdistyvät usein korkea sähköenergian ja lämpöenergian tarve riippuen viljeltävistä lajikkeista. Kyselytutkimus kohdistettiin koko otokselle ja vastauksia saatiin 41 tilalta.

Suurimmalla osalla tiloista sähkönkulutus jäi alle 100 000 kWh/v, joka on liian vähän 35 kW_e -tehoiselle pien-CHP-yksikölle, koska sähkön myynnille tilan ulkopuolelle ei ole syöttötariffia. Lisäksi kävi ilmi, että tiloilla ei tyypillisesti ollut hakkeen kuivaukseen sellaisenaan soveltuvia varastoja ja laitteita.

Omaan sähköntuotantoon investoimista motivoivina tekijöinä mainittiin energian hinta, toimitusvarmuus, ympäristöystävällisyys, omien metsävarojen hyödyntäminen ja omien koneiden käyttö. Investoimista hidastavina seikkoina tuli ilmi kalleus, pääoman puute, olemassa oleva toimiva hakelämmitysjärjestelmä, CHP-hakkeen korkeat laatuvaatimukset sekä uuteen teknologiaa perehtymisen vaatima aika. Oman sähköntuotannon tukimuodoiksi toivottiin suunnitteluapua, tuntuva investoinnin tukiprosenttia, korotonta pitkäaikaista lainoitusta, avustusta laitteiston hankkimiseen sekä tariffitukea tuotetulle sähkölle ja/tai lämmölle.

REFERENSSIKOhteet

Hankkeen toteutuksen alussa tutustuttiin kolmeen referenssi-kohteeseen Suomessa: Sirkalan energiapuisto Joensuussa, Kuittilan tila Nurmeksessa ja Sinikasvis-tila Sukevalla. Vierailujen tavoitteena oli tutustua olemassa oleviin pien-CHP-yksiköihin Suomessa, ja näistä saatiin erittäin paljon hyödyllistä tietoa. Maatiloilla oli käytössä niin sanottu hybridiratkaisu, jossa pien-CHP-laitoksen rinnalla sähköä tuotettiin aurinkoenergialla. Käyttäjien mukaan yksiköt ovat toimineet hyvin. Laitteistoja käytettäessä huollot on tehtävä ajallaan ja polttoaineen laatuun pitää kiinnittää huomiota, koska yleisimmät tuotanto-ongelmat johtuvat polttoaineen laadusta.

Lisäksi hankkeen aikana vierailtiin neljällä maatilalla Skotlannissa. Iso-Britanniassa pien-CHP-yksiköitä on yli 100, kun niitä Suomessa on vain noin 10. Skotlanti valittiin vierailukohteeksi, koska siellä tuotanto- ja ilmasto-olosuhteet ovat lähempänä Suomea kuin Saksassa. Vierailutiloilla polttoaineen laatu ja kuivaus sekä laitteistojen huolto, kunnossapito ja käyttövarmuus olivat erityisen huomion kohteina. Kaikki vierailukohteet edustivat monipuolisesti erilaisia tuotantosuuntia. Toisin kuin Suomessa skotlantilaisilla vierailumaatiloilla ei ollut omaa metsää. Kaikissa tutustumiskohteissa korostui kuitenkin polttoaineen eli hakkeen laatu (kosteus, palakoko). Tyypillisesti sekä energiapuu että haketus ostettiin tilan ulkopuoliselta toimijalta. Skotlannissa pien-CHP-hankinnan kannattavuus ja investointien lyhyempi takaisinmaksuaika johtuivat paljolti valtion tuotantotuista, joita maksettiin sekä sähkölle että lämmölle riippumatta siitä, käytettiinkö niitä itse vai myytiinkö ulos. Suomessa vastaavia tukimuotoja tuotetulle sähkölle tai lämmölle ei ole, vaan Suomessa tarjolla on ainoastaan investointituki.

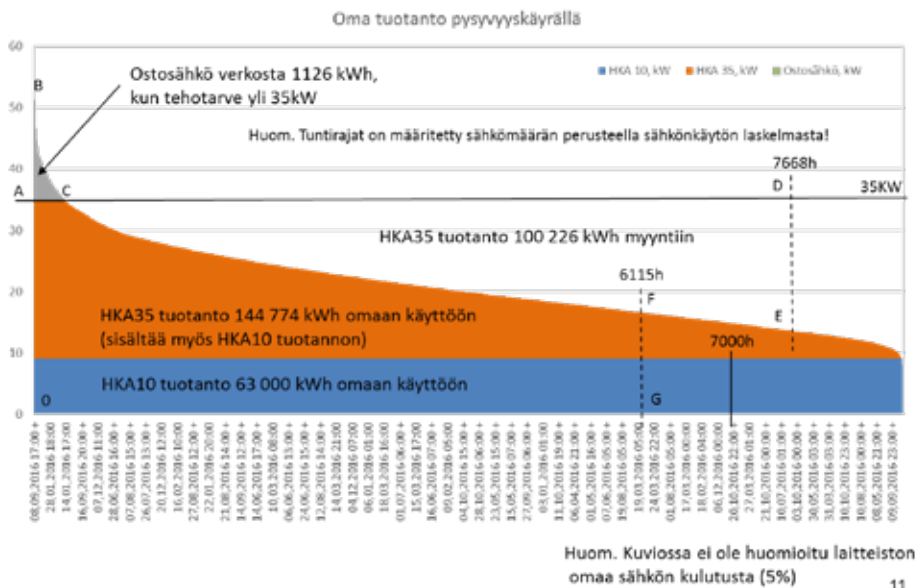
PILOT-TARKASTELUJEN Tulokset

Energia-asiat olivat selvästi ajankohtaisia haastatteluun ja kyselyyn osallistuneille maanviljelijöille. Metsäbiomassaan perustuvan energiaratkaisun ohella he toivoivat yleisesti lisää tietoa sähkön tuotantoratkaisuista tiloilla. Haastattelujen, kyselyn ja tilojen kanssa käytyjen jatkokeskustelujen kautta tilakäyntien ja pilottiratkaisujen kohteiksi valikoitui kolme maatila, jotka täyttivät pien-CHP-tuotantoon liittyvät energiankulutuksen minimivaatimukset.

Näistä kaksi oli maitotiloja ja yksi kasvinviljelytila. Sähköenergian kulutus maitotiloilla oli noin 180 000 kWh/v ja kasvistilalla noin 370 000 kWh/v. Lämmitykseen kaikilla tiloilla käytettiin puuhaketta.

Pilot-kohteissa käytiin paikan päällä kertomassa pien-CHP-teknologiasta, ja samalla kartoitettiin lisätietoja tarkempaa tarkastelua varten. Lisätiedot käsittivät tarkennuksia energia-tietoihin muun muassa sähkön- ja lämmönkulutuksen tehovaihteluista eri vuodenaikoina ja vuorokauden aikoina sekä tilan energiantarpeesta tulevaisuudessa. Samalla kartoitettiin myös olemassa olevien tilojen ja laitteistojen hyödyntämismahdollisuutta pien-CHP-tuotannossa. Vierailujen yhteydessä kerrottiin myös tarkemmin pien-CHP-yksikön mahdollisuuksista ja haasteista esimerkiksi kannattavuuden osalta. Ennakolta oli arvioitu, että pien-CHP-laitteistolla tuotetaan vuodessa noin 180 000–200 000 kWh sähköä ja 600 000 kWh lämpöenergiaa, josta osa hyödynnetään polttoaineen kuivauksessa. Saatujen ennakkotietojen mukaan pilot-tarkasteluihin valituista maatiloista kaikki kuluttivat sähköä riittävästi vuositasona.

Kuvassa 2 on esitetty yhden pilot-kohteen sähkönkulutuksen pysyvyyskäyrä. Pysyvyyskäyrällä sähkönkulutuksen tuntitehot vuodelta 2016 on lajiteltu suuruusjärjestykseen vaakakselille ja tilan todellista sähkönkulutusta kuvaavat harmaa, oranssi ja sininen alue, yhteensä noin 182 000 kWh/v.



KUVA 2. Pilot-kohteen sähkön kulutuksen pysyvyyskäyrä vuodelta 2016.

Vaakaviiva (35 kW) kuvaa pien-CHP-yksikön sähkön tuotantotehoa ilman käyttö- ja huoltokatkoja. Harmaa alue (ABC) kuvaa niitä tuntitehoja, jolloin tilan sähkönkulutuksen tuntiteho ylittää 35 kW. Tätä sähkön määrää (1 126 kWh/v) ei pystytä tuottamaan 35 kW:n pien-CHP-yksiköllä, vaan se on ostettava verkosta. Oranssin ja sinisen alueen kuvio (ACFG0) kuvaa 35 kW:n pien-CHP-yksiköllä tuotettua sähkömäärää, joka voidaan hyödyntää tilalla, yhteensä 144 774 kWh/v. Tämä oma tuotanto korvaisi ostosähköä. Valkoinen alue (CDE) kuvaa 35 kW:n teholla tuotettua sähkömäärää, joka ylittäisi tilan oman kulutuksen ja jouduttaisiin myymään verkkoon, yhteensä 100 226 kWh/v. Verkkoon myytävä sähkö heikentää pien-CHP-yksikön kannattavuutta, koska verkkoon myynnistä saadaan alhaisempi hinta kuin omassa käytössä. Analyysissä laitteiston tuotantotehon säätöä ei huomioitu ja vuotuinen käyttöaika oli 7 000 tuntia.

Hankkeen toteutuksen aikana syksyllä 2017 yhdeltä laitevalmistajalta tuli markkinoille pienemmän kokoluokan pien-CHP-yksikkö. Tässä yksikössä sähköteho on 9 kW ja lämpöteho 22 kW. Tämä pienemmän kokoluokan tuotantoyksikkö soveltuu paremmin suomalaisten maatilojen tarpeisiin, koska sillä voidaan tuottaa sähkön ja lämmön peruskuormaa ja kaikki tuotanto voidaan hyödyntää omassa kulutuksessa. Yksikkö toimii myös varavoiman lähteenä sähkökatkojen aikana. Pilot-kohteen tapauksessa (kuva 2) sininen alue kuvaa 9 kW:n sähkön tuotantomäärää (yhteensä 63 000 kWh/v), joka voidaan hyödyntää kokonaisuudessa tilalla.

JOHTOPÄÄTÖKSET

Toiminnallisesti nykyinen pien-CHP-teknologia soveltuu erinomaisesti Etelä-Savon maataloille. Vastaavia ratkaisuja on laajasti käytössä muun muassa Keski-Euroopassa ja Iso-Britanniassa. Suomessa merkittävimmät hajautettua energiantuotantoa puoltavat tekijät ovat hyvä polttoaineen saatavuus, erityisesti puun osalta, sekä huoltovarmuuden paraneminen. Käyttöönottoa hidastavia tekijöitä ovat muun muassa yleisimpien laitteistojen kokoluokka verrattuna tyypillisen maatilan energian tarpeeseen. Kaupallisten laitteistojen sähköteho on 30–40 kW, joka on peruskuormaa tuottaessa liian suuri keskimääräisille maataloille. Maataloilla myös tarvittavan sähkötehon vaihtelu aiheuttaa haasteita omalle tuotannolle. Korkean investointikustannuksen vuoksi laitteistoa kannattaa käyttää täydellä teholla mahdollisimman paljon, mutta tällöin sähköä ja lämpöäkin syntyy yleensä yli tilan tarpeen. Ylimääräinen sähkö voidaan myydä verkkoyhtiölle, joka on velvollinen ostamaan sähkön. Tästä saatu korvaus on kuitenkin pienempi kuin omassa kulutuksessa hyödynnettäessä, mikä heikentää tuotannon kannattavuutta. Keski-Euroopassa käytössä olevat sähkön myynnin syöttötariffit takaavat tuottajalle paremman hinnan myös myyntisähköstä, ja tämä parantaa toiminnan kannattavuutta, vaikka kaikkea tuotettua sähköä ei hyödynnettäisi omassa kulutuksessa. Iso-Britanniassa jopa tuotetulle lämmölle sai tukea. Lisäksi Suomessa maaseudulla pitkät siirtoetäisyydet asettavat haasteita lämmön hyödyntämiselle tilan ulkopuolella.

Etelä-Savossa isommille pien-CHP-yksiköille (sähköteho 30–40 kW) potentiaalisia käyttökohteita haja-asutusalueella ovat suurimmat maatilat, kasvihuoneet, hotellit ja kylpylät. Julkisissa kohteissa laitteistojen käyttö voi olla aluksi haasteellista, koska toimintatapa on uusi eikä siitä ole aiempaa kokemusta. Tämä voisi kuitenkin avata uusia liiketoimintamahdollisuuksia ulkopuoliselle yrittäjälle, joka hoitaisi esimerkiksi polttoaineen hankinnan ja kuivauksen sekä laitteiston käytön ja huollon. Jos samalla alueella olisi useampia laitoksia, niistä saataisiin muodostettua järkevä toiminnallinen kokonaisuus.

Hankkeen toteutuksen aikana syksyllä 2017 markkinoille tuli myös pienemmän kokoluokan pien-CHP-yksikkö, jonka sähköteho on 9 kW ja lämpöteho 22 kW. Tämän kokoluokan laitteistolle olisi käyttökohteita Etelä-Savon maataloilla selvästi enemmän. Esimerkiksi pilot-tilalla tällainen pien-CHP-yksikkö on kannattava investointi, ja laskelmissa investoinnin korolliseksi takaisinmaksuajaksi tuli noin 10 vuotta. Laitteiston tuotantotehot sopivat paremmin tilan kulutukseen, jolloin kaikki tuotettu sähkö ja lämpö voidaan hyödyntää tilalla. Erityisesti itse tuotetusta sähköstä saadaan parempi hinta. Kannattavuusanalyyseissä lämmön vertailuhintana käytettiin öljylämmön hintaa ja osa huoltotöistä oletetaan tehtävän itse. Nämä parantavat yksikön kannattavuutta. Sen sijaan uusiutuvan energian käytön tuomaa kilpailuetua lopputuotteiden markkinoinnissa ja huoltovarmuuden paranemista oman energiantuotannon avulla ei huomioitu kannattavuustarkastelussa. Jokaisen tilan yhteydessä on tarkistettava tapauskohtaisesti laitteiston soveltuvuus tilalle. Yleensä maataloilla on ammattitaitoisia moniosaajia käyttämään ja huoltamaan omaa sähkön- ja lämmöntuotantoyksikköä. Maanviljelijöillä on myös paljon kokemusta puulämmityksestä. Toisaalta nykyisillä tekijöillä työtaakka voi olla liian suuri, mikä voi hidastaa uusiin innovaatioihin perehtymistä.

LÄHTEET

Gissek, A. 2017. Operational environment for biomass-based small-scale CHP unit. Lappeenrannan teknillinen yliopisto.

Luke – Luonnonvarakeskus. 2018. Maa- ja puutarhatalouden energiankulutus 2017. Saatavissa: <http://stat.luke.fi/maa-ja-puutarhatalouden-energiankulutus>. Viitattu 26.4.2018.

Ollikainen, S. & Vento, P. (toim.) 2012. Etelä-Savon metsä- ja puuklusterin kehittämissuunnitelma. Suomen Metsäkeskus.

Spanner Re2. Official website. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.holz-kraft.com/en/products/biomass-chp.html>. Viitattu 17.4.2018.

Volter Oy. Official website. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://volter.fi/technology/>. Viitattu 17.4.2018.

VANERIN PALOSUOJAUKSEN KEHITTÄMINEN

Olli Paajanen

Xamkin puulaboratorion Viilun modifointi -hankkeessa tutkittiin puuviilun ja puuviilutuotteiden palo-ominaisuuksia. Hanke toteutettiin Xamkin, Aalto-yliopiston ja yritysten yhteistyössä. Hankkeen tavoitteena oli tutkia kemiallisia puuviilun käsittelymenetelmiä, joiden avulla voidaan parantaa puuviilusta valmistettavien tuotteiden palo-ominaisuuksia. Palokäyttäytymisen tutkiminen ja kehittäminen on tärkeää, kun kehitetään uusia tuotteita ja sovelluksia puutuoteollisuudessa. Puun käyttöä halutaan lisätä erityisesti kerrostalorakentamisessa ja julkisessa rakentamisessa. Näissä kohteissa myös turvallisuusvaatimukset ja palomääräykset ovat vaativia. Hanketta rahoittivat Etelä-Savon maakuntaliitto Euroopan aluekehitysrahastosta, hanketoimijat ja osallistuvat yritykset: Stora Enso Wood Products Oy Ltd, Metsä Wood ja UPM-Kymmene Wood Oy.

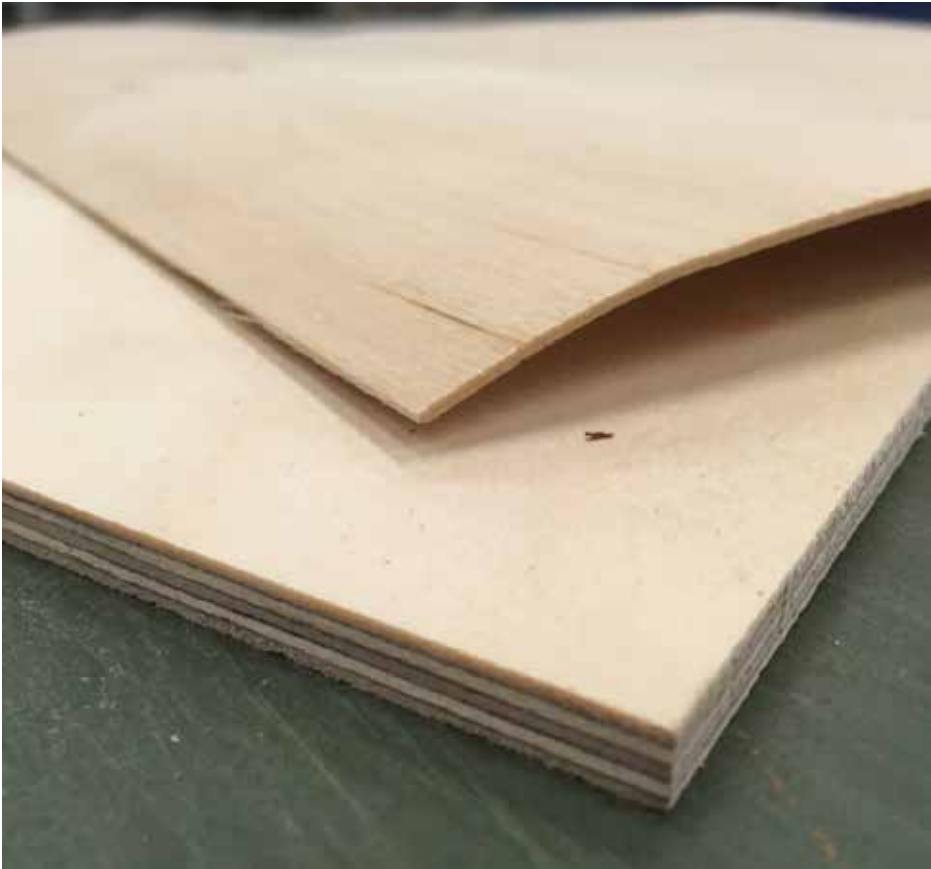
HANKKEESSA TUTKITTIIN VANERIN- JA PUUVIILUN PALO-OMINAISUUKSIA

Hankkeen tavoitteena oli kehittää kemiallisia puuviilun käsittelymenetelmiä puuviilua hyödyntävään teollisuuteen. Tutkimuksessa keskityttiin pääasiassa tuotteiden palokäyttäytymiseen. Tutkimus tukee suomalaista mekaanista metsäteollisuutta. Viilupohjaisten tuotteiden osuus mekaanisen metsäteollisuuden viennistä on merkittävä. Etelä-Savossa vaneri- ja LVL-tuotteita valmistavilla yrityksillä on merkittäviä tuotantolaitoksia Mikkelissä, Punkaharjulla ja Savonlinnassa. Lisäksi viiluteollisuutta on myös lähimaakunnissa muun muassa Varkaudessa, Jyväskylässä, Suolahdessa, Äänekoskella, Joensuussa ja Kouvossa. Koska tuotteet ovat pitkälle jalostettuja ja useat käyttökohteet ovat vaativia, vanerissa käytetään laadukasta puuraaka-ainetta. Tämän takia viilua käyttävän teollisuuden merkitys on suuri Etelä-Savon lisäksi myös koko Suomen metsätaloudelle.

Xamkin puulaboratoriossa tutkitaan puutuotteita ja niiden valmistusprosesseja. Palo-ominaisuuksiin kohdistuvaa työtä on tehty muun muassa erilaisten suojauskäsittelyjen alueella. Laboratorion kyllästyslaitteistoilla käsitellään säännöllisesti puutuotteita palosuojausaineilla. Palosuojauskelle uutta liiketoimintaa lämpöpuuklusterille-hankkeessa kehitetään lämpöpuutuotteiden palosuojausta. Xamkissa on mahdollista tehdä muutamia sovellettuja palotestejä, esimerkiksi niin sanottu pienen liekin testi, mutta varsinainen standardoitu palotestaus tehdään yhteistyökumppanien kanssa. Viilun modifointi -hankkeessa keskitytään sahatavarapohjaisten massiivipuutuotteiden asemesta ohuiden puuviilujen ja niistä

valmistettujen tuotteiden käsittelyyn ja tutkimiseen. Tämä on joiltain osin uusi avaus Xamkin puulaboratorion toiminnassa.

Hankkeessa tehtiin koekäsittelyjä viilumateriaalilla ja tutkittiin käsittelyjen vaikutusta eri menetelmin sekä viiluihin että lopputuotteeseen vaneriin. Kuvassa 1 on hankkeen koe-materiaalia. Päällimmäisenä kuvassa on 1.5 mm koivuviilu ja alla samoista viiluista tehty 5-kerrosvanerilevy, paksuudeltaan noin 6.5 mm.



KUVA 1. 1.5 mm koivuviilua ja koivuvanerilevy (5-ply) (kuva Olli Paajanen).

VIILUJEN KÄSITTELY

Koeajoissa modifioitiin 1.5 mm paksuisia koivuviiluja eri käsittelyaineilla, joita olivat natriumsilikaatti (vesilasi), booriyhdisteet ja diammoniumfosfaatti. Tässä artikkelissa keskitytään diammoniumfosfaattiin, koska sillä saatiin kiinnostavia tuloksia ja käsittelynä se ei ole kovin tunnettu. Ainemäärät valittiin Aalto-yliopistoissa tehtyjen kokeiden perusteella, tavoitteena riittävä tehoainemäärä viilussa. On huomioitava, että eri käsittelyaineilla on

erilaiset kiinnittymismekanismit, joten käsittelyt tehdään erilaisilla konsentraatioilla. Puuhun kiinnittyvän aineen määrä vaihtelee ainekohtaisesti. DAP-käsittelyssä käytettiin 50 g/l konsentraatiota, jolla saatiin käsittelyainetta viiluihin noin 27 kg/m³.

Koeviilut käsiteltiin Xamkin puulaboratorion kyllästyslaitteistolla. Laitteisto on kooltaan suuri, ja sillä voidaan käsitellä pitkiä tuotteita kuten sahatavaraa. Toisaalta painekyllästyskäsittely voidaan samalla laitteistolla tehdä myös hyvin pienikokoisessakin astiassa. Painekäsittely tehtiin seuraavilla yksinkertaisena alipainekyllästyksenä, alipaineen ollessa 40 mbar (abs) alipaine ja käsittelyn kesto 20 minuuttia. Viilut olivat käsittelyn aikana muoviastiassa nestepinnan alla. Kuvassa 2 on kyllästyslaitteisto, jolla tehtiin alipainekäsittelyjä.



KUVA 2. Puulaboratorion perinteinen kyllästyslaitteisto (kuva Olli Paajanen).

KOELEVYJEN VALMISTUS

Viiluista tehtiin vanereita puulaboratorion kuumapuristimella ja myös Aalto-yliopiston laboratoripuristimella. Levyjä valmistettiin sekä 3- että 5-kerroksisina. Xamkin puulaboratorion puristin on kuvassa 3. Liimana käytettiin Preferen toimittamaa teollisuudessa käytettyä vanerihartsia ja kovetetta, ja puristusaika laskettiin levyn paksuudesta riippuen vakiokaavalla 3 min + 0,5 min/mm, puristustilanteen ollessa 135 °C. Liimauksessa liiman viskositeetti säädettiin veden avulla.



KUVA 3. Laboratoriomittakaavan puristin, jolla tehtiin osa koelevyistä (kuva Olli Paajanen).

Levyjä valmistettaessa huomattiin, että vaikka viilut oli tasaannutettu samoissa olosuhteissa, niiden kosteudet vaihtelivat käsittelystä riippuen. Tällä voi olla vaikutusta liimausprosessin lopputulokseen ja tuotteen ominaisuuksiin. Kokeissa huomattiin kuumapuristusvaiheessa, että muutamia yksittäisiä levyjä halkesi höyrynpaineen takia. Palosuoja-aineet sitovat vettä, joten käsittelyaineen suuri määrä voi nostaa levyaihion kosteutta. Koska myös liimasta vapautuu kovettumisreaktiossa vettä, höyrynpaine voi nousta liian korkeaksi. Tämä tarkoittaa, että myös levyjen valmistusprosessiin voi olla tarpeen tehdä muutoksia varsinaisen käsittelyprosessin lisäksi. Tässä tutkimuksessa ei muokattu valmistusparametreja käsittelyn mukaan, mutta tämä on huomioitava jatkotutkimuksessa.

VANERIEN PALO-OMINAISUUKSIEN TESTAUS

Vanereiden palo-ominaisuuksien selvittämiseksi tutkittiin viilujen ja vanereiden palo-ominaisuuksia. Näytevanereista teetettiin kartiokalorimetrikoe Savonia ammattikorkeakoulussa, jossa on käytettävissä testilaitteisto. Kartiokalorimetritesti määritellään ISO 5660-1 -standardissa. Testikoekappale on kooltaan 100 mm x 100 mm. Kokeessa kappaleeseen kohdistetaan lämpösäteilyä ja sytytyslähde. Testi kestää määrätyn ajan ja testin tuloksena saadaan selville muun muassa syttymisaika, massahäviö, lämmön ja savun vapautumisnopeus sekä

savun- ja lämmöntuotto. Näiden tietojen avulla voidaan arvioida tuotteen palo-ominaisuuksia. Testiä käytetään yleisesti eri tuotteiden ja materiaalien palotestaukseen. Vaikka näyte sinänsä on pieni, testin tuloksien soveltaminen on mahdollista: niiden avulla on mahdollista tehdä suuntaa-antava arvio tuotteen käyttäytymisestä suuremmissa mittakaavassa tehtävästä SBI-testistä. Toisaalta on huomioitava, että sekä kappale että toistomäärä ovat pieniä (3). Puutuotteiden osalta on tärkeää huomioida perusraaka-aineesta johtuva hajonta ominaisuuksissa. Vaikka monien puutuotteiden valmistuksessa keskeinen osa prosessia on raaka-aineen homogenisointi, yksittäisten pienten koekappaleiden ominaisuuksissa on paljon hajontaa.

Kartiokalorimetritulokset ovat taulukossa 1. Taulukkoon on koottu tulokset DAP-käsitellyistä viiluista valmistetuista vanereista sekä referenssistä. Tulokset ovat selkeyden vuoksi esitetty kolmen testinäytteen tuloksista laskettuna keskiarvona. DAP-käsittelyllä saatiin parhaat tulokset esikokeista, joten ne ovat myös mielenkiintoisimmat tämän kokeen osalta.

TAULUKKO 1. Palotestitulokset.

	Yksikkö	DAP	Referenssi
Maksimilämmöntuotto	kW/m ²	363.1	561.2
Vapautuneen lämmön määrä (300 s sytytyksestä)	MJ/m ²	38.6	61.4
Massahäviö	g	36.7	42.8
Keskimääräinen savuntuotto	m ² /s	0.0029	0.0076
Syttymisaika	s	14.0	25.0

Tuloksista nähdään, että DAP-käsitellyt käyttäytyvät eri tavalla kuin referenssi. Massahäviö on pienempi, suurin lämmönvapautumisnopeus on matalampi ja vapautuva lämpömäärä pienempi. Myös keskimääräinen savuntuotto on matalampi. Syttymisaika on kuitenkin selkeästi lyhyempi verrattuna referenssiin.

YHTEENVETO

DAP:n jatkotutkimus vaikuttaa lupaavalta palotestien tulosten perusteella. Tulokset ovat alustavia, mutta ne vahvistavat esikokeissa ja pienten liekin testeissä tehtyjä havaintoja. Toisaalta uusien aineiden käyttöönotossa tarvitaan tietoa palo-ominaisuuksien lisäksi käsittelyaineiden vaikutuksesta koko valmistusprosessiin. Monimutkaisemmasta prosessista huolimatta viulujen käsittely ennen varsinaista lopputuotteen valmistusprosessia voi tuoda myös etuja, jos käsittelyaineet parantavat tuoteominaisuuksia merkittävästi tai esimerkiksi palosuojajäsenien pysyvyyttä saadaan parannettua. Hankkeessa otettiin käyttöön useita

puulaboratoriolle uusia tutkimusmenetelmiä ja sovellettiin kyllästyskäsittelyjä viiluteollisuuden tuotteisiin. Uusia tutkimusmenetelmiä olivat muun muassa liiman kovettumisreaktioiden analysointi DSC-menetelmällä, palo-ominaisuuksien arviointi termogravimetrisesti (TGA) ja SEM-EDS-tutkimukset, joissa tutkittiin aineiden sijoittumista viiluissa elektronimikroskoopilla.

BIOTUOTETEHTAAN HAPPI- JA PESUVAIHEIDEN TOIMINNAN PARANTAMINEN SOVELTAEN UUSIA ON-LINE-MITTAUKSIA

Jari Käyhkö & Riku Kopra

Sellutehtaan happivaiheen tarkoitus on jatkaa keitossa alkanutta ligniinin poistoa käyttäen happea ja alkalia sopivassa lämpötilassa. Ruskean massan pesun tarkoitus on taasen poistaa massasta seuraavaa prosessivaihetta haittaavat epäpuhtaudet ja ottaa talteen mahdollisimman tarkkaan sekä keittoperäiset epäorgaaniset aineet uudelleenkäyttöä varten että puuperäiset orgaaniset aineet polttoon käyttäen mahdollisimman vähän vettä. Ennen happivaihetta massa on pestävä riittävän puhtaaksi, etteivät happi ja alkali kulu pesuhäviön reaktioihin.

GasOpti-projektin yhtenä osa-alueena tutkitaan happivaiheen ja sitä ympäröivien pesuvaiheiden toimintaa mm. asentamalla prosessiin Kuitulaboratoriossa kehitettyjä on-line-kuplakuvauslaitteistoja, uudentyyppejä kaasupitoisuusmittauksia sekä useita liuennon kuiva-aineen pitoisuutta mittaavia on-line-refraktometrejä. Hankkeen pääasiallisena tavoitteena on ymmärtää paremmin kaasujen käyttäytymistä ja vaikutuksia prosessissa. Lisäksi tavoitteina on edistää uusien on-line-mittausten sekä näihin perustuvien säätö- ja tiedonkäsitteilyjärjestelmien käyttöönottoa biotuotetehtaassa. Mittauksiin perustuen on saatu uutta tietoa kaasudispersiosta happivaiheessa (bubble size distribution), vaahdonestokemikaalien vaikutuksista prosessissa ja liuennon aineen käyttäytymisestä sekä happivaiheessa että pesureilla. Alustavat tulokset indikoivat, että uusilla mittauksilla saadaan täysin uutta tietoa happivaiheen ja pesuvaiheiden toiminnasta, mikä antaa mahdollisuuksia prosessin tehostamiseen. Hanke alkoi vuoden 2018 alussa ja jatkuu vuoden 2019 loppuun. Projektien päärahoittajana toimii Euroopan aluekehitysrahasto Business Finlandin kautta. Projekteja ovat rahoittaneet myös seuraavat tahot: Andritz Oy, Janesko Oy, Carbonreuse Finland Oy, Pixact Oy, Solenis Finland Oy, Metsäsairila Oy ja Juvan Bioson Oy.

JOHDANTO

Teollisuudessa käytetään yleisesti happeen perustuvia menetelmiä ligniinin poistoon, valkaisuun ja joissain tapauksissa viskositeetin säätöön. Tällaisia menetelmiä ovat happidelignifointi, happiavusteinen valkaisu sekä otsonointi. Nämä menetelmät ovat tärkeä osa modernin kuitulinjan toimintaa, ja näiden painoarvo on kasvamassa mm. taloudellisuuden

ja ympäristömyönteisyyden johdosta. Happipohjaisten menetelmien käyttö vähentää myrkyllisten aineiden määrää jätevesissä (AOX) sekä lisää tehdasvesien kierrätysmahdollisuuksia tehtaassa. Vesikierroiltaan suljettu sellutehdas perustuu tulevaisuudessa hyvin pitkälle happipohjaisiin prosessivaiheisiin.

Kuitulaboratoriossa on tehty jo vuosia töitä näiden menetelmien kehittämisen parissa. Kuitulaboratoriossa on tutkittu happivaiheen ympäristössä kaasujen, pääsääntöisesti hapen ja ilman, sekä liuenneen aineen käyttäytymistä itse happireaktorissa ja sitä edeltävässä ja seuraavassa pesulaitteessa. Aiemmissa ja meneillään olevassa Business Finlandin rahoittamassa GasOpti-projektissa on saatu uusilla kuvantavilla kameratekniikkaan perustuvilla mittauksilla uutta tietoa hapen ja liuenneen aineen käyttäytymisestä ja vaikutuksista happivaiheen toimintaan ja ligniinin poistoon (kappareduktio). Yksi olennainen uusi kehitetty menetelmä on happidispersion kuplakokojakauman on-line-mittaus, joka mahdollistaa hapen aineensiirron kvantifoinnin ja siten aiempaa huomattavasti syvällisemmän prosessin toiminnan ymmärtämisen. Näiden uusien on-line-mittausten käytöllä prosessin seurannassa ja säädössä näyttäisi olevan mahdollista optimoida jatkuvatoimisesti happivaiheiden ja niihin kiinteästi liittyvien pesuvaiheiden toimintaa, mikä antaa mahdollisuuden nostaa tehtaiden happivaiheiden kappareduktiota huomattavasti. Tällä on merkittävä vaikutus tehtaan talouteen ja ympäristömyönteisyyteen, sillä tällöin mm. suurempi osa puusta liuotetuista aineista kulkeutuu polttoon ja energiantuotantoon eikä jäteveden käsittelylaitokselle. Laajentamalla happivaiheen toiminta-aluetta tehtaalla on myös paremmin mahdollisuus optimoida suhteellisia ligniinin poisto-osuuksia keitossa, happivaiheessa ja valkaisuissa, jolloin voidaan saavuttaa parannuksia saannossa, kuitujen laadussa, kemikaalien kulutuksessa, energian tuotannossa sekä jäteveden käsittelyssä. Vaikutukset voivat olla hyvin merkittäviä; esim. jo 0,1 prosentin saantolisäyksellä on satojen tuhansien eurojen vaikutus sellutehtaan kannattavuuteen vuositasolla.

HANKKEEN TUTKIMUSMENETELMÄT

Hankkeen tutkimustoiminta perustuu hyvin pitkälle tehtaalla tapahtuvaan on-line-mittausten seurantaan ja tehdaskokeisiin. Olennaisimmat käytettävät mittalaitteet ovat on-line-kuplakuvauslaitteisto (kuva 1), Echowise on-line kaasupitoisuusmittaus (kuva 2) sekä K-patentsin refraktometrit (kuva 3). Kuplakuvauslaitteistolla määritetään kaasudispersion kuplakokojakauma ja lisäksi saadaan karkeaa tietoa kaasun määrästä prosessissa. Echowise on-line -kaasupitoisuusmittauksella saadaan hyvin tarkka tieto vapaan kaasun määrästä prosessissa. Refraktometrillä puolestaan määritetään liuenneen aineen määrää prosessissa.



KUVA 1. On-line-kuplakuvauslaitteisto (kuva Mutikainen ym. 2014).

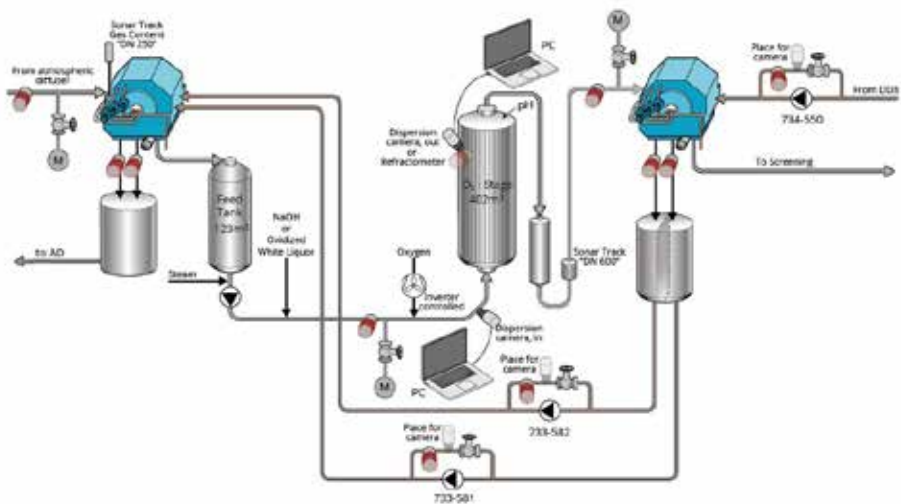


KUVA 2. Echowise on-line -kaasupitoisuusmittaus (kuva Jari Käyhkö).



KUVA 3. K-patentsin refraktometri (kuva Riku Kopra).

Yleiskuva laitteiden asennuspaikoista prosessiin on esitetty kuvassa 4.

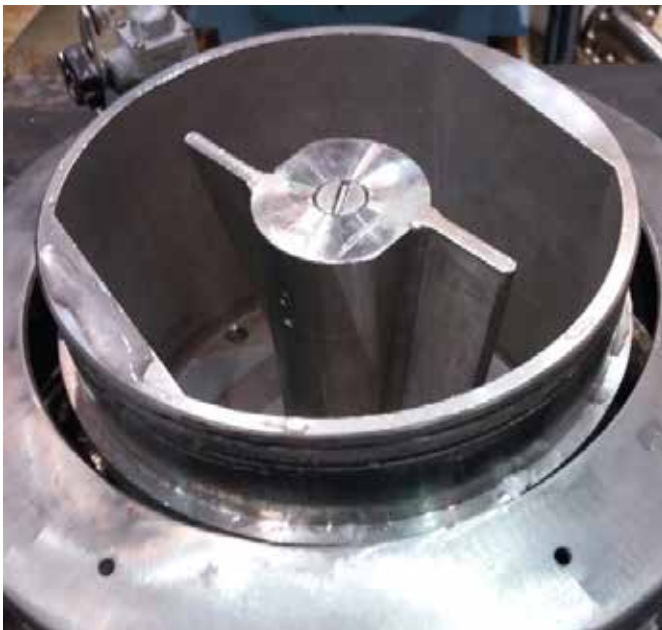


KUVA 4. On-line-mittausten asennuspaikat prosessiin (kuva Riku Kopra).

Laboratoriossa kuplan muodostukseen vaikuttavia tekijöitä tutkitaan hankkeessa karbonaattoreaktorilla (kuva 5) ja happidelignifointia Mark-valkaisureaktorilla (kuva 6).



KUVA 5. Karbonaattoreaktori, johon on yhdistetty kuplakuvauslaitteisto (kuva Jari Käyhkö).

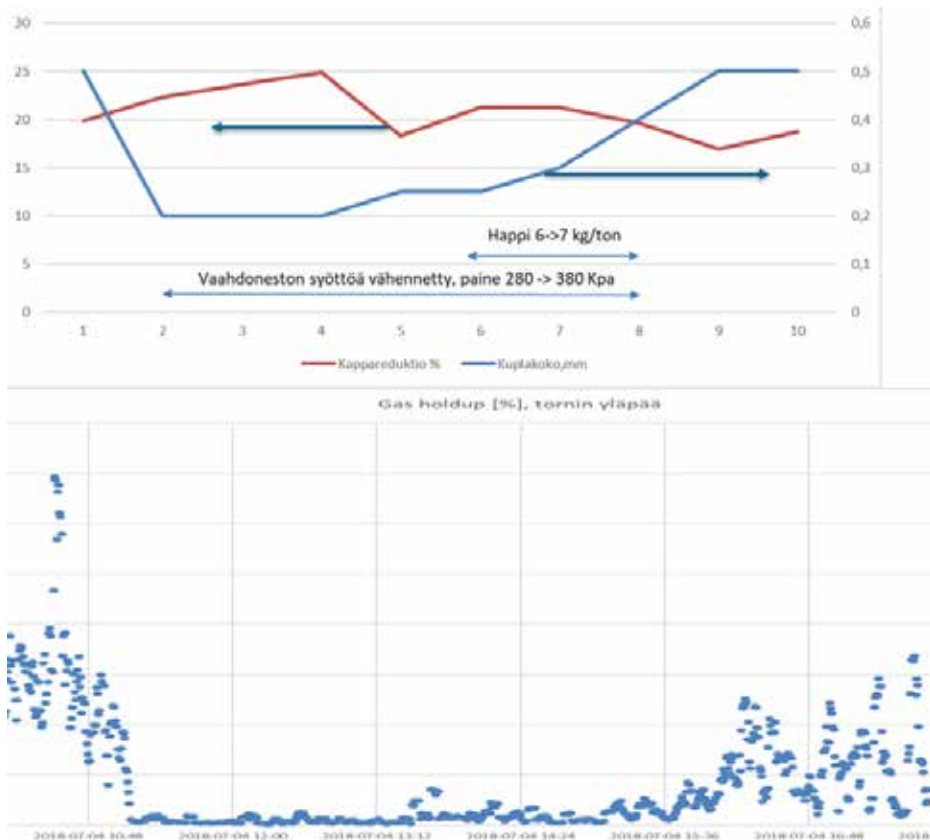


KUVA 6. Mark-valkaisureaktori (kuva Jari Käyhkö).

HANKKEEN ALUSTAVIA TULOKSIA

Selluprosesseissa käytetään vaahdonestokemikaaleja, joiden tehtävänä on yhdistää kuplia ja siten edesauttaa näiden poistumista prosessista. Prosessissa esiintyvät kaasukuplat heikentävät pesua ja suurina pitoisuuksina näillä voi olla myös muita haittavaikutuksia prosessin toimintaan, kuten pumppausten stabiilisuuteen. Jo aiemmin samaan tutkimusalueeseen keskittyneessä Fokudemo-hankkeessa saatiin selkeää näyttöä siitä, että prosessissa käytettävällä vaahdonestoaineella voi olla merkittävä happivaiheen kaasudispersion kuplakokoa kasvattava vaikutus (Mutikainen et al. 2017). Ko. hankkeen aikana pystyttiin tekemään vain lyhyitä koeajoja, joten vaahdonestokemikaalin vaikutusta happivaiheen toimintaan ei pystytty todentamaan.

Heinäkuussa toteutettiin pitempi koeajo, jossa vaahdonestokemikaalin syöttö happivaihetta edeltävälle pesurille aluksi katkaistiin ja tämän jälkeen pidettiin mahdollisimman pienenä. Tämän vaikutus happidispersion kuplakokoon ja kappareduktioon on esitetty kuvassa 7. Dispersion kuplakoko pienenee selkeästi ja samalla kappareduktio kasvaa merkittävästi. Lisäksi reaktorin läpi menevän jäännöskaasun määrä romahtaa, mikä indikoi, että suuremmalla hapen syötön lisäyksellä kappareduktiota olisi voitu vielä nostaa. Kokeen edetessä kappareduktio kuitenkin lähtee laskuun, mikä johtuu pesun huononemisesta. Tulos indikoi, että ko. prosessissa olisi mahdollisuus nostaa kappareduktiota, jos dispersio voidaan pitää pienenä pesuvaihetta häiritsemättä. Lisäksi tulos indikoi myös sitä, että yleisestikin happivaihetta ja pesuja optimoitaessa näiden toimintaa tulee tarkastella yhtenä kokonaisuutena.



KUVA 7. Yläkuva: Vaahdoneston syötön vähentämisen vaikutus kuplakokoon sekä tämän, paineen noston ja happiannoksen vaikutus kappareduktioon. Alakuva: Reaktorista tulevan jäännöskaasun määrä mitattuna kuplamittarilla.

JOHTOPÄÄTÖKSET

GasOpti-hankkeessa jatketaan Kuitulaboratoriossa pitkään tehtyä selluprosessin toiminnan tutkimista viemällä uutta mittaustekniikkaa käytäntöön sekä tutkimalla näiden avulla prosessien toimintaa sekä näihin liittyviä perusilmiöitä. Tämä lisää perustietämystä tehdasmittakaavan prosesseihin liittyvistä ilmiöistä, luo mahdollisuuksia tehostaa ko. prosessien toimintaa, edistää uusien on-line-mittausten käyttöönottoa tehtaissa sekä luo mahdollisuuksia aivan uudenlaisten säätö- sekä IoT-ratkaisujen toteutukseen nyt ja tulevaisuudessa.

LÄHTEET

Mutikainen, H., Kopra, R., Pesonen, A., Hakala, M., Honkanen, M., Peltonen, K. and Käyhkö, J. 2014. Measurement, State and Effect of the Gas Dispersion on the Oxygen Delignification, Proc. of International Pulp Bleaching Conference, Aug. 28–30, 2017, Porto Seguro, BA, Brazil.

Mutikainen, H., Peltonen, K., Pikka, O., Käyhkö, J. 2014. Characterization of Oxygen Dispersion in Delignification Process. Proc. of International Pulp Bleaching Conference, October 29–31, 2014, Grenoble, France.

Kopra, R., Mutikainen, H., Pesonen, A., Käyhkö, J. and Tervola, P. 2017. Using Online Total Dissolved Solids (TDS) Measurements for Investigating the Performance of Oxygen Delignification, Proc. of Int. Pulp Bleaching Conf., Aug. 28–30, 2017, Porto Seguro, BA, Brazil.

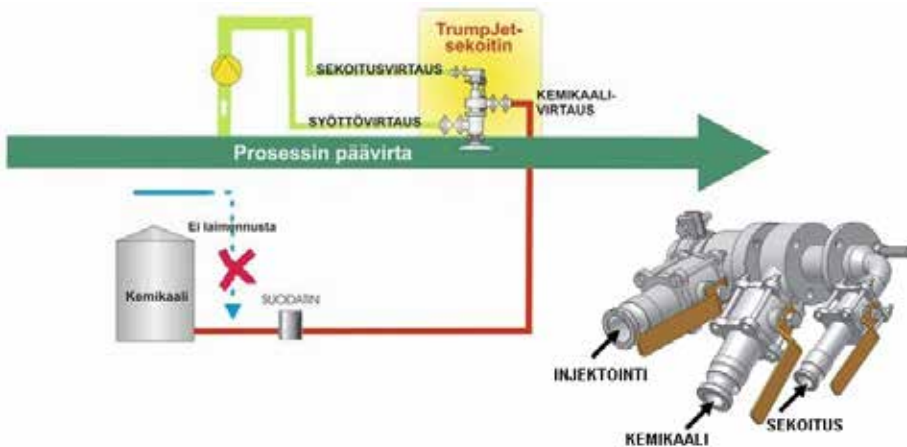
NOPEAN SEKOITUKSEN MITTAAMINEN SUURNOPEUS- LÄMPÖKUVAUKSEN JA SÄHKÖN- JOHTAVUUDEN AVULLA

Emmi Kallio & Marko Rasi & Sami Siikanen

Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulun tutkimusyksikössä Kuitulaboratoriossa on jo pitkään tutkittu erilaisia sekoitukseen liittyviä ilmiöitä. Erityisesti paperikoneen märkään päähän annosteltavien kemikaalien sekoittuminen ja niiden tehokas käyttö ovat olleet tutkimusten ydinaluetta. Kuitulaboratorion hallinnoimassa NewPro (New high reactivity in-line process knowhow for the Finnish fiberproduct business ecosystem) -hankkeessa etsittiin uusia menetelmiä mitata kemikaalien sekoittumista paperikonesovelluksissa. Sekoittumisen tutkimiseen hyödynnettiin mm. IR-lämpökuvausta sekä EIT-tomografiaa. Hanketta rahoittivat Business Finland (ent. TEKES) Euroopan aluekehitysrahastosta, Andritz Oy, Degremont Technologies AB, Janesko Oy, Ket-Met Oy, Stora Enso Oyj ja Wetend Technologies Oy. Sekoitustutkimuksissa IR-lämpökuvauksen toteutuksessa kumppanina oli VTT.

JOHDANTO

Viime vuosina suuren mittakaavan prosessien sekoitustekniikat ovat kehittyneet voimakkaasti lähinnä kemiallisen puunjalostuksen alueella. Erityisen merkittävä innovaatio on Wetend Technologies Oyj:n kehittämä TrumpJet®- tekniikka, jossa kemikaali sekoitetaan prosessiin hyödyntäen injektoinnissa prosessin omaa nestettä (kuva 1). Sekoituksen merkitys ja vaikutukset flokkaantumiseen ovat tärkeässä asemassa, kun tavoitellaan parannuksia perinteisten kemikaalien tehoon ja tuotteen ominaisuuksiin. Injektointitekniikan avulla on jo nyt saatu usealla paperitehtaalla selkeitä kemikaalisäästöjä. (Matula ym. 2006, Matula ym. 2016)



KUVA 1. TrumpJet®-tekniikka (kuva Wetend Technologies).

Koska TrumpJet®-tekniikka käyttää hyödyksi prosessin omaa nestevirtaa, voidaan sekoituksen injektio-osassa käyttää merkittävästi suurempaa tilavuusvirtaa. Kemikaalisekoittimen tehokkuus perustuu suuren tilavuusvirran lisäksi myös syötettävän injektio-astian nopeuteen, jolloin aikaan saadaan nopea ja tehokas sekoittuminen. Suuren tilavuusvirran ja nopeuden ansiosta injektiovirtaus tunkeutuu ja sekoittuu tehokkaasti päävirtaukseen. Kemikaalivirtaus syötetään puolestaan hellävaraisesti ohuena filminä injektiovirtauksen sisään, jolloin kemikaali kohtaa injektiovirtauksen suurella kontaktipinnalla. Sekoitusvirtaus tulee suihkun sisimmäiseksi virtaukseksi ja työntää kemikaalifilmin tehokkaasti injektiovirtauksen joukkoon. (KnowPap, Matula ym. 2006)

Tehokkaamman sekoittumisen ansiosta reaktiot raaka-aineiden välillä tapahtuvat hyvin nopeasti, alle yhdessä sekunnissa. Ilmiöt näin nopeassa sekoittumisessa, etenkin mikrotaasolla, ovat kuitenkin vielä osin tuntemattomia. Tätä varten on tarve kehittää mittaus- ja havainnointimenetelmiä, joiden avulla ymmärretään paremmin mikrotason reaktiot ja ilmiöt hyvin nopeassa sekoittumisessa.

Suurnopeuslämpökuvauksen hyödyntämistä eri käyttösovellusten tarpeisiin on tutkittu viime vuosina. Esimerkiksi kiväärin luodin lennon aikana luodissa tapahtuvia lämpöilmiöitä on tutkittu suurnopeuslämpökameroilla radiometrisillä mittauksilla luodin pinnasta ja saatu arvioita lämpötiloista tietyissä luodin pinnan pisteissä (Richards 2005). Lisäksi on tutkittu muun muassa lamppufilamentin räjähdystä (Richards 2005). On myös arvioitu potentiaalia käyttää aikaerottua infrapuna-analyysiä suurella spatiaalisella resoluutiolla karakterisoidaan neste vs. kiinteä -rajapintojen lämmönsiirtoilmiöitä, jotka tapahtuvat pisaroiden törmäyksissä seiniin (Teodori ym. 2018). VTT on tutkinut suurnopeuslämpökuvauksen käyttöä sellutehtaan soodakattilan partikkelien lentoratojen ja kokojakauman määrittämiseen (Siikanen ym. 2012).

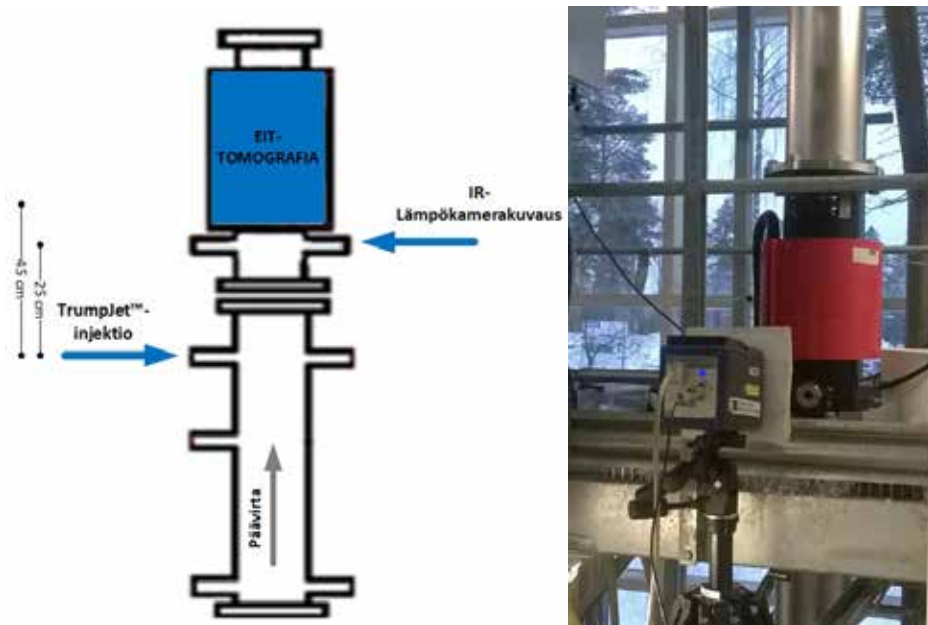
MATERIAALIT JA MENETELMÄT

Kokeiden suorittamisessa hyödynnettiin Xamk Kuitulaboratoriossa olevaa Flash-sekoitusluupistoa. Laitteistossa varastosäiliöstä pumpataan materiaali pystyputkeen, joka toimii päävirtana, ja päävirran sekaan voidaan annostella esim. kemikaaleja hyödyntäen putkistoon kiinnitettäviä sekoitinlaitteistoja. (Käyhkö, Rasi, 2015) Kokeiden aikana päävirrassa kierrätettiin kylmää vettä, jonka lämpötila oli 10–15 °C ja johtokyky 500 µS/cm. Päävirran sekaan sekoitettiin TrumpJet®-injektorilla kuumaa vettä, jonka lämpötila oli n. 45 °C ja johtokyky 2 000 µS/cm. TrumpJet®-injektorin virtauksia muutettiin. Koepisteet on esitetty taulukossa 1.

TAULUKKO 1. Koepisteet ja niissä käytetyt virtaukset.

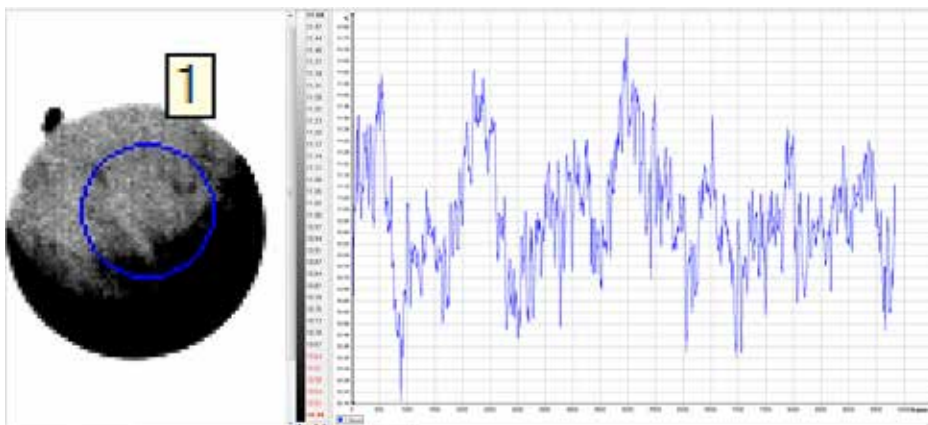
Koepiste nro	Virtaukset, l/s			
	Päävirta	Kemikaalivirta	Injektiovirta	Sekoitusvirta
1	17	0,34	0	0
2	17	0,34	1,5	0
3	17	0,34	1,5	1,5
4	50	1	0	0
5	50	1	2,6	0
6	50	1	2,6	2

TrumpJet®-injektorin aikaansaamaa sekoittumista mitattiin korkean suorituskyvyn IR-lämpökameran avulla. Korkean suorituskyvyn lämpökamera oli tyypiltään Cedip Titanium 560M, johon oli kiinnitetty 25 millimetrin objektiivi. Lämpökameran kuvankaappausnopeus oli 328 kuvaa sekunnissa. Lämpökamerakuvaus tapahtui putken kylkeen asennetun läpimitaltaan yhden senttimetrin safiiri-ikkunan läpi. Kuvassa 2 on esitetty, kuinka laitteistot oli aseteltu kokeissa. Lämpökameran lisäksi havainnoinnissa hyödynnettiin EIT-tomografiaa (Electric Impedance Tomograph). EIT-tomografia mittaa sähkönjohtavuutta putken ympärille asetettujen elektrodien avulla. Erilaiseen sähkönjohtavuuteen perustuen laite muodostaa 3D-kuvan putken sisällöstä (Kourunen ym. 2008, Kourunen ym. 2011). Kuumen veden injektointi päävirtaan kesti yhden minuutin, josta IR-lämpökamera kuvasi viimeisen 30 sekunnin jakson ajan videota. Tomografia tallensi jatkuvasti.



KUVA 2. Koejärjestelyt (kuva Emmi Kallio).

Lämpökameran kuvasta valittiin mitattava alue (kuva 3), jonka sisällä olevien pikseleiden avulla seurattiin lämpötilaa ja sen muutosta. Lämpötilojen keskiarvon ja keskihajonnan avulla voitiin laskea sekoitusindeksi, joka kuvaa sekoituksen onnistumista (kaava 1). Mitä pienempi sekoitusindeksin arvo on, sitä paremmin nesteet ovat sekoittuneet.



KUVA 3. IR-lämpökameralla mitattava alue ja sen sisältä valitun alueen, sininen ympyrä, keskilämpötila ajan funktiona (kuva Sami Siikanen).

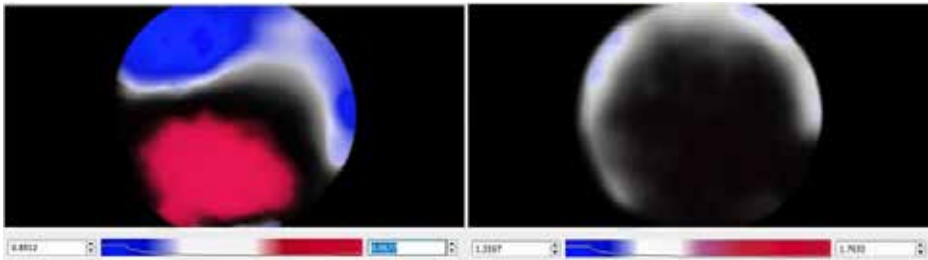
$$\text{Sekoitusindeksi} = \frac{s}{\bar{x}} \quad (1)$$

, jossa \bar{x} on keskiarvo
 s on keskihajonta

TULOKSET

Lämpimän veden annostelua käyttäen pelkästään kemikaalivirtausta voidaan verrata tilanteeseen, jossa kemikaali annosteltaisiin päävirtaukseen esim. perinteistä T-yhdettä käyttäen. Tällöin sekoittuminen putken koko pinta-alalle on hyvin hidasta. Kuvassa 4 vasemmalla on esitetty koepisteiden 1 ja 4 kaltainen tilanne, jossa injektointiin on käytetty vain kemikaalivirtausta. Tässä tilanteessa johtavampi aines, eli kuuma vesi, on jakautunut putken vain toiselle reunalle, mikä nähdään kuvassa punaisen sävynä. Myöskään putken toisella puolella oleva IR-kamera ei havainnut lämpötilassa muutoksia (taulukko 2).

Kun käyttöön otettiin sekoittumista parantavat injektio- ja sekoitusvirtaukset, syötettävä kuuma vesi levisi mittauspisteisiin mennessä putken koko halkaisijalle (kuva 4 oikea). Taulukossa 2 sekä kuvissa 5–6 on esitetty injektio- ja sekoitusvirtausten vaikutukset lämpötilan muutoksiin ja sekoittumiseen. Taulukosta 2 nähdään, että sekoitusvirtauksen käyttö pienentää keskihajontaa ja sekoitusindeksiä eli parantaa sekoittumista.

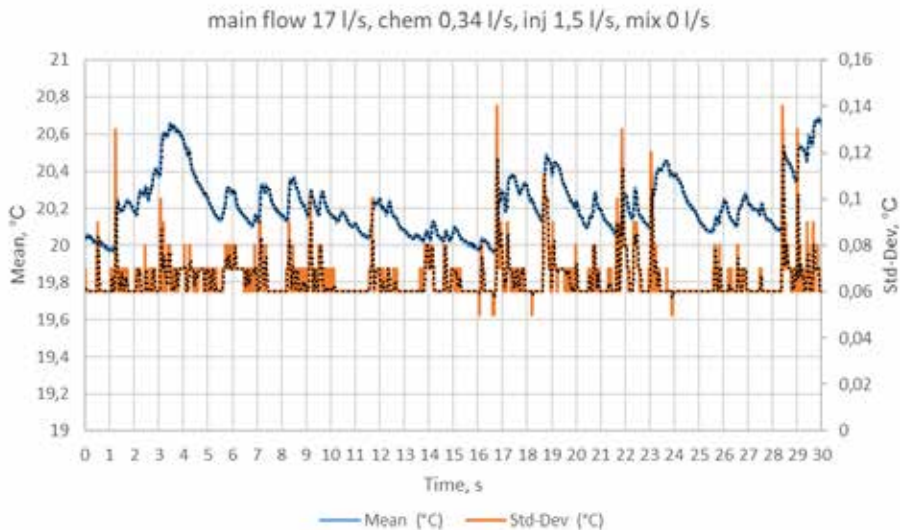


KUVA 4. EIT-tomografian kuvaa erilaisista sekoittumisista, väriasteikko kuvaa materiaalin johtokykyä, sininen vähiten johtavaa. Vasemmalla koepisteen 1 ja 4 kaltainen tilanne, jossa käytössä vain kemikaalivirtaus. Oikealla olevassa kuvassa käytössä TrumpfJet®-injektorin sekoittavat injektio- ja sekoitusvirtaukset (kuva Emmi Kallio).

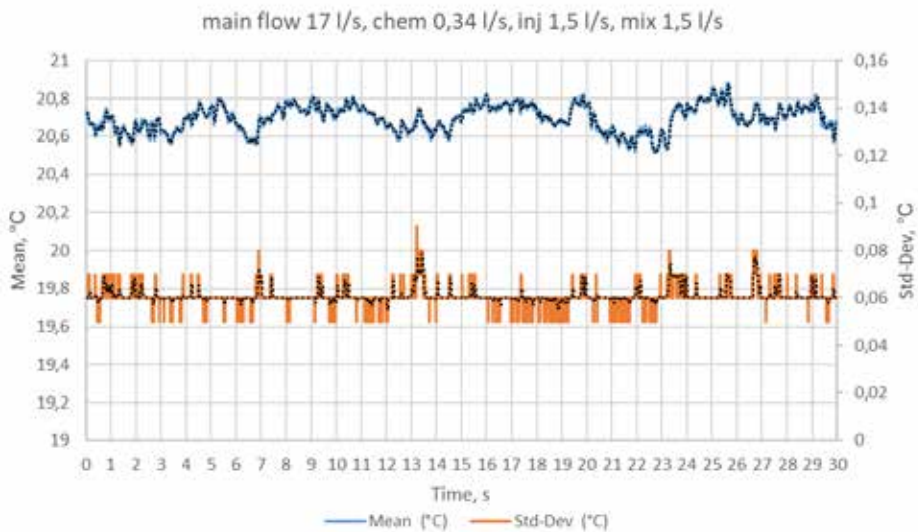
TAULUKKO 2. IR-lämpökameralla mitatut lämpötilojen muutokset sekä niistä laskettu sekoitusindeksi.

Koepiste nro	Virtaukset, l/s				Keskiarvo, °C	Keskihajonta, °C	Sekoitusindeksi, %
	Päävirta	Kemikaalivirta	Injektiovirta	Sekoitusvirta			
1	17	0,34	0	0			
2	17	0,34	1,5	0	20,2	0,15	0,74
3	17	0,34	1,5	1,5	20,69	0,06	0,29
4	50	1	0	0			
5	50	1	2,6	0	17,41	0,21	1,21
6	50	1	2,6	2	17,96	0,11	0,61

Kuvista 5 ja 6 nähdään, että kuuma vesi on jakautunut koko putken halkaisijalle sen saavuttaessa IR-mittauspisteen. Kuitenkin ilman sekoitusvirtausta (kuva 5) lämpötilan keskiarvossa ja keskihajonnassa nähdään suuria vaihteluita, mikä viittaa siihen, että syötetty aine ei ole tasaisesti sekoittunut. Kuvassa 6 vaihtelut ovat selvästi pienemmät johtuen sekoitusvirtauksen aikaansaamasta paremmasta sekoittumisesta. Samat havainnot voitiin tehdä myös katsomalla hidastettuja videoita IR-mittauksesta.

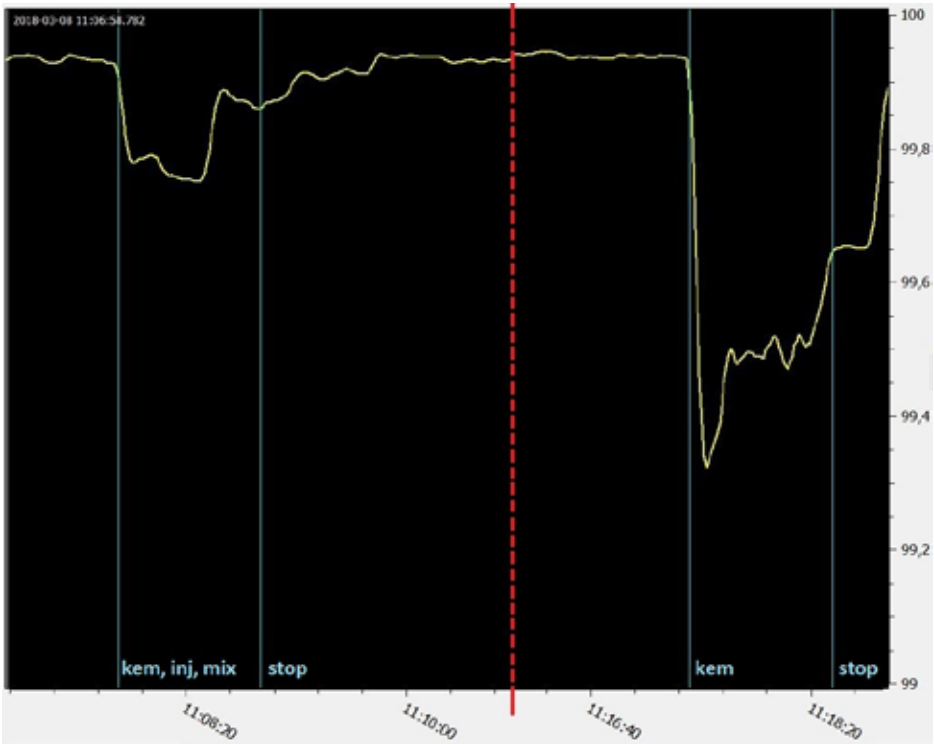


KUVA 5. IR-lämpökameralla mitattu keskilämpötila ja lämpötilan hajonta ajan funktiona koepisteessä 2 (kuva Emmi Kallio).



KUVA 6. IR-lämpökameralla mitattu keskilämpötila ja lämpötilan hajonta ajan funktiona koepisteessä 3 (kuva Emmi Kallio).

Kuvassa 7 on esitetty EIT-tomografilaitteistosta saatava sekoitusindeksi. Arvo 100 kuvaa täysin homogeenista seosta eli arvon pienentyessä heterogeisuus kasvaa. Kuvasta 7 nähdään, että käytettäessä pelkkää kemikaalivirtausta (oikea laita) sekoitusindeksi on pienempi kuin sekoittavien virtojen ollessa käytössä (vasen laita). Tämä mittaus siis tukee myös aiemmin tehtyjä havaintoja.



KUVA 7. EIT-tomografian avulla laskettu sekoitusindeksi (kuva Emmi Kallio).

YHTEENVETO

Putkessa tapahtuvaan sekoitukseen liittyvät sekoitinlaitteet ovat kehittyneet paljon viime vuosina. Laitteistojen avulla on jo saatu merkittäviä parannuksia prosesseihin, mutta syitä ja ilmiöitä näiden taustalla ei vielä tunneta riittävän hyvin. Sekoitusprosessien toiminnan tutkimisessa tarvitaan uutta ja nykyistä tarkempaa mittaustekniikkaa prosessi-ilmiöiden hallinnan tehostamiseksi. Tehdyissä kokeissa osoitettiin, että IR-lämpökuvausta ja EIT-tomografiaa voidaan hyödyntää em. sekoitusilmiöiden tutkimisessa. IR-suurnopeuslämpökuvausta on mahdollista suorittaa myös vielä tarkemmassa mittakaavassa, jopa mikrometrimittaluokassa. In-line-sekoitusteknologian sovelluspotentiaali on valtava ja se ulottuu koko prosessiteollisuuteen. Prosessiteollisuudessa on selkeä trendi siirtyä in-line-sekoitukseen ja hyödyntää siihen liittyviä uusia mittausjärjestelmiä, jotka auttavat vähentämään kustannuksia, raaka-aineiden käyttöä, energian käyttöä ja ympäristön kuormitusta.

LÄHTEET

KnowPap, 2018. KnowPap - paperitekniiikan ja tehtaan automaation oppimisjärjestelmä. Kemikaalien sekoitus ja annostelu. Versio 19.0.

Kourunen, J., Heikkinen, L.M., Paananen, P., Peltonen, K., Käyhkö, J., Vauhkonen, M. 2011. Electrical resistance tomography for evaluating a medium consistency mixer. *Nordic Pulp and Paper Research Journal* 26(2011):2, 179–185.

Kourunen, J., Käyhkö, R., Matula, J., Käyhkö, J., Vauhkonen, M., Heikkinen, L.M. 2008. Imaging of mixing of two miscible liquids using electrical impedance tomography and linear impedance sensor. *Flow Measurement and Instrumentation* 19 (2008):6, 391–396.

Käyhkö, J., Rasi, M. 2015. Kuitulaboratoriossa syvennyttään suurten teollisten prosessien nopeiden sekoitusilmioiden tutkimukseen, *Materiaalit ja ympäristöturvallisuus - Soveltavaa tutkimusta ja tuotekehitystä, vuosijulkaisu 2015*, Soininen, H., Dufva, K., Kontinen, K., (toim.), Mikkelin Ammattikorkeakoulu.

Matula, J., Ruuska, T., and Käyhkö, J. 2006. Immediate and efficient mixing of wet end additives close to the PM headbox, *Papermakers Conf., TAPPI Press, Atlanta*.

Matula, J., and Matula, J. 2016. Eye Opening Operating Results of Flash Mixing Reactor for Efficient Use of Wet End Additives, *PaperCon, TAPPI Press, Atlanta*.

Richards, A.A. 2005. Applications for High-Speed Infrared Imaging. *Proceedings Volume 5580, 26th International Congress on High-Speed Photography and Photonics*.

Siikanen, S., Miikkulainen, P., Kaarre, M., Juuti, M. 2012. In-line particle measurement in a recovery boiler using high-speed infrared imaging. *Proc. SPIE 8354, Thermosense: Thermal Infrared Applications XXXIV, 83540M*.

Teodori, E., Pontes, P., Moita, A., Moreira, A. 2018. Thermographic analysis of interfacial heat transfer mechanisms on droplet/wall interactions with high temporal and spatial resolution. *Experimental Thermal and Fluid Science* Volume 96 (2018).284–294.

TEOLLISEN PURISTUSJAUHATUS- MENETELMÄN KEHITYS – KUITU- TASON EROT PURISTUS- JA TERÄ- JAUHATUKSESSA

Jari Käyhkö & Lauri Kulmala

Kuitulaboratoriossa on tutkittu jo vuodesta 2010 lähtien uutta teolliseen mittakaavaan soveltuva puristusjauhatusmekaniikkaa. Tekniikan yksi sovelluskohde on patentoitu, ja tutkimuksia on nyt jatkettu Kuuma EAKR/ELY hankkeessa. Tässä artikkelissa kerrotaan ko. tutkimusalueen taustat, saadut merkittävimmät tulokset sekä jatkosuunnitelmat. Aikaisemmista puristusjauhatus koskevista tutkimuksista poiketen KID-puristusjauhatus havaittiin katkovan kuituja ja muodostavan hienoainetta enemmän verrattuna teräjauhatuskseen. Näyttäisi kuitenkin siltä, että KID-puristusjauhatus aiheuttaa huomattavasti enemmän sisäistä fibrillaatiota verrattuna teräjauhatuskseen, mikä on erittäin merkittävä havainto menetelmän jatkokehityksen kannalta.

JOHDANTO

Kemiallista massaa jauhetaan teräjauhaimilla tiettyjen paperiteknisten ominaisuuksien, kuten lujuuden ja formaation, parantamiseksi. Teräjauhatuskseen kuidun ulkoinen fibrillaatio, kuitujen katkeilu ja hienoaineen muodostus ovat merkittävää voimakkaiden leikkausvoimien takia. Tiedetään myös, että perinteisessä teräjauhatuskseen merkittävä osa kuiduista, jopa 80 %, ei jauhaudu lainkaan. Ideaalinen jauhatustapahtuma aiheuttaisi pääasiassa sisäistä fibrillaatiota, ulkoista fibrillaatiota tapahtuisi sopivasti ja hienoaineen muodostuminen olisi minimoitu, kuidut eivät katkeilisi lainkaan, jauhatusenergian tarve olisi matala ja käsittely täysin homogeeninen kaikkien kuitujen osalta (Kerekes 2010, Hietanen 1991, Dekker ym. 2007).

Useiden tutkimusten mukaan kuitujen sisäistä fibrillaatiota pidetään tärkeimpänä jauhatuseffektinä korkean lujuuspotentiaalinsa saavuttamiseksi, mutta ulkoisella fibrillaatiolla ja hienoaineen muodostumisella on oma roolinsa mm. kuituverkoston sitoutumisen kannalta (Casey 1960, Higgins ym. 1961, Tasman 1966, Giertz 1980, Ebeling 1980, Hartman 1984, Page 1989, Paavilainen 1993).

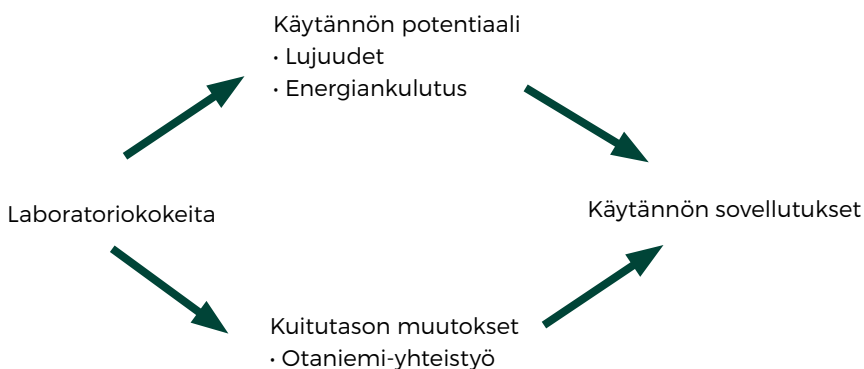
Puristusjauhatuskseen on energiankulutuksen vähentämisen ja laatuvarustusten lisäksi mahdollisuus laajentaa kuitumateriaalien toiminnallisia ominaisuuksia, mikä voisi johtaa ominaisuuksiltaan selkeästi parempien tai jopa aivan uudentyypisten kuitutuotteiden kehittämiseen.

Puristusjauhatuksessa ulkoinen fibrillaatio ja hienoaineen muodostus ovat vähäisempiä alhaisten leikkausvoimien takia. Itse jauhatustapahtuma kuluttaa vähemmän energiaa kuin perinteinen jauhatus samassa vetolujuudessa verrattuna. Samalla massan suotautuvuudella voidaan saavuttaa korkeampi vetolujuus. Samalla vetolujuustasolla perinteisesti jauhettuun massaan verrattuna puristusjauhetulla massalla on pienempi vedenpidätyskyky, mikä johtaa kuivatusenergian säästöön paperikoneella. Puristusjauhetuilla massoilla saattaa kuitenkin olla perinteisesti jauhettuja massoja selvästi alhaisempi repäisyjuisuus ja bulkki (Dekker 2007).

On myös esitetty (Wang ym. 2007, Seo ym. 2002, Seo ym. 2003, El-Sharkawy ym. 2008), että kuidun täyden paperitekniikan laatupotentiaalin hyödyntäminen edellyttää kaksivaiheista jauhatusta. Ensin tulisi tehdä puristuskäsittely kuidun sisäisen fibrillaation ja kuidun suoristamisen edistämiseksi, toisena vaiheena hiova käsittely ulkoisen fibrillaation kehittämiseksi. Näin sisäistä ja ulkoista fibrillaatiota voidaan säätää toisistaan riippumatta. Kaksivaiheinen jauhatus, joka sisältää kuidun puristusjauhatuksen sopivalla laitteella ja ulkoisen fibrillaation perinteisellä teräjauhatuksella, saattaisi optimaalisesti toteutettuna oleellisesti parantaa joitakin valmiin paperin laatuominaisuuksia ja mahdollisesti jopa säästää energiaa.

Puristusjauhatuksen soveltamista on hidastanut sopivien tehdasmittakaavaisten laitteiden puuttuminen markkinoilta. Laboratoriomittaisia koelaitteistoja on kirjallisuudessa (Dekker ym. 2007, Lossada ym. 2001, Eibinger ym. 2005, Dekker 2007, Goosen ym. 2007) esitetty muutamia, esimerkiksi modifioitu PFI-jauhin, mutta niiden muuntaminen tehdasmittakaavaan on vaikeaa tai mahdotonta.

Kuuma-nimisessä hankkeessa on ollut tavoitteena selvittää KID-puristusjauhatuksen käytännön potentiaalia vertaamalla sitä teräjauhatukseen. Lisäksi tärkeänä tavoitteena on ollut selvittää, kuinka KID-puristusjauhatus ja teräjauhatus poikkeavat toisistaan kuitutason ja ominaisuuksien osalta, mikä antaisi puolestaan perusteita jauhatusolosuhteiden optimointiin parempien kuituominaisuuksien saavuttamiseksi (kuva 1). Tässä artikkelissa keskitytään ko. kuitutason ilmiöiden selvitykseen tähtäävien laboratoriokokeiden esittelyyn.



KUVA 1. Kuuma-hankkeen pääasialliset tavoitteet KID-puristusjauhatuksen osalta (kuva Jari Käyhkö).

MATERIAALIT JA MENETELMÄT

Puristusjauhatuset on tehty kuvan 2 KID-kartiotärymurskaimella. KID-murskaimella ajettiin mäntymassaa 5,0 prosentin sakeudessa yhdeksän kertaa KID-jauhimen läpi. Massaa annosteltiin yläsuppiloon niin nopeasti kuin se laitteen läpäisi. Täryn taajuus oli 50 Hz ja välys 4,5 mm.



KUVA 2. KID-kartiotärymurskain (kuva Juhani Turunen).

Teräjauhatuset on tehty Andritzin valmistamalla 25-tuumaisella levyjauhimella (kuva 3) kolmen prosentin sakeudessa ajamalla massa 1–9 kertaa jauhimen läpi.



KUVA 3. Kokeissa käytetty pilot-levyjauhain (kuva Jari Käyhkö).

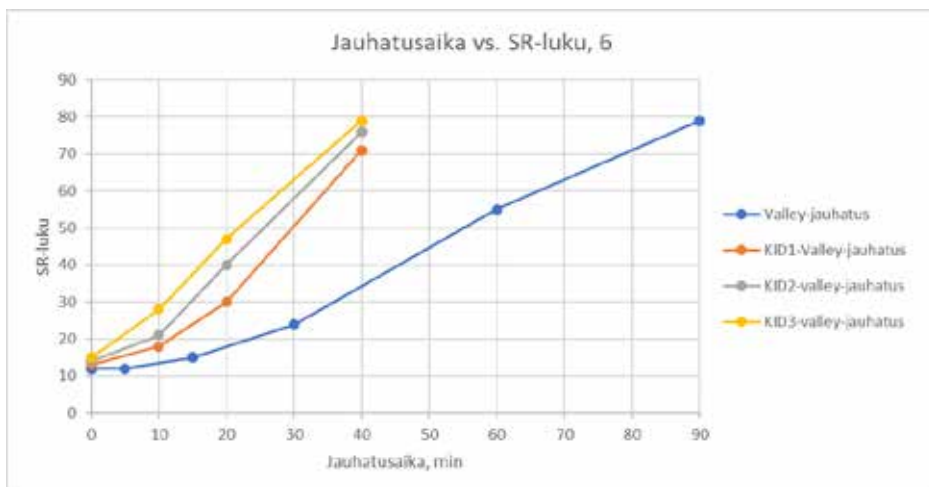
Massan käsittelyssä ja analysoinnissa on käytetty taulukon 1 mukaisia standardeja.

TAULUKKO 1. Käytetyt laboratoriostandardit.

Valley-jauhatus	SCAN-C 25:76
SR-luku	ISO 5267-1
Kuituanalyysi	T 271
Kuumahajotus	ISO 5263
WRV	ISO 23714
Sakeus	ISO 4119

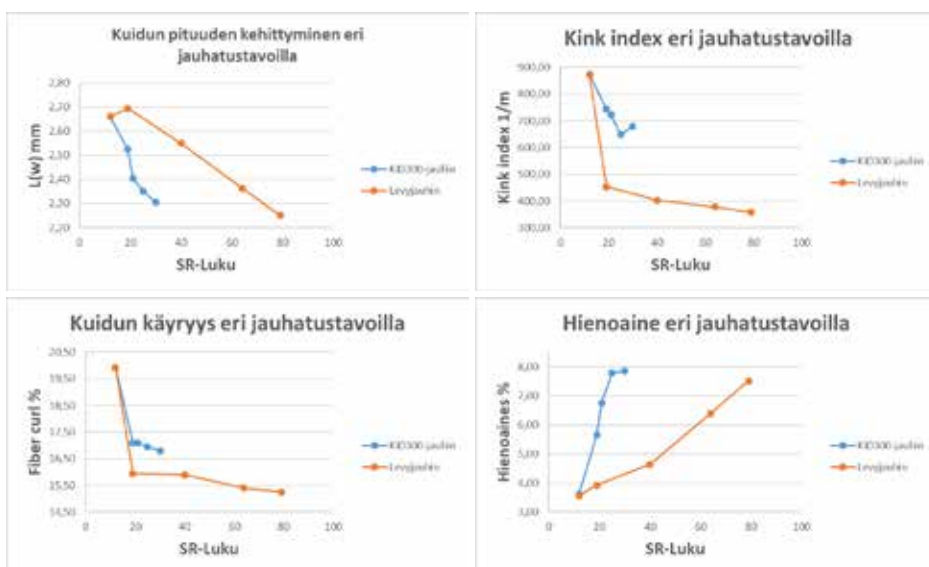
TULOKSET

Kuvassa 4 on esitetty SR-luvun kehittyminen jauhatusajan funktiona Valley-jauhaimella. Kuvasta nähdään, että vaikka KID-jauhatuksessa SR-luku ei juurikaan kehity, massan jauhautuvuus paranee selvästi. Eli Valley-jauhatuksessa suotautuvuus nousee ajan funktiona KID-käsittelyillä massoilla huomattavasti nopeammin verrattuna käsittelemättömään massaan.



KUVA 4. SR-luku jauhatusajan funktiona Valley-jauhatusessa.

Kuvassa 5 on esitetty kuitutason ominaisuuksia eri jauhatusavoilla.

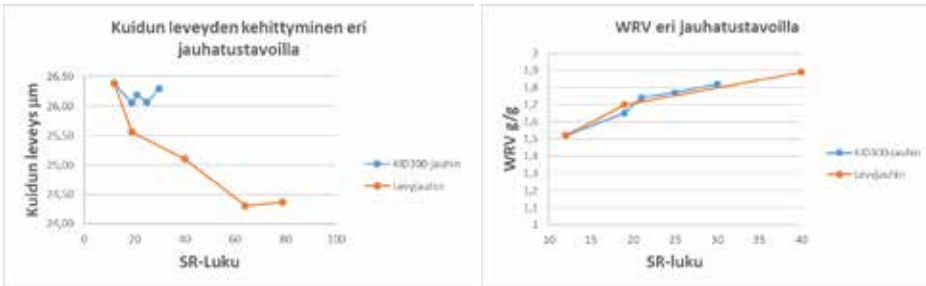


KUVA 5. Kuitutason ominaisuuksia eri jauhatusavoilla.

KID-jauhatus lyhentää kuituja selkeästi nopeammin verrattuna levyjauhatuskseen. Levyjauhatuskseen kuidunpituus ensin kasvaa, mikä on aivan normaali ilmiö johtuen kuitujen suoristumisesta. Puristusjauhatuskseen ko. suoristumisilmiötä ei havaita. Samasta syystä myös kink index ja kuidun käyryys jää suuremmaksi puristusjauhatuskseen kuituilla. Kui-

tujen katkeilun myötä puristusjauhatusta tuottaa myös enemmän hienoainetta verrattuna teräjauhatukseen, kuten kuvasta 5 voidaan havaita.

Teorian mukaan puristusjauhatuksen tulisi tuottaa enemmän sisäistä fibrillaatiota verrattuna teräjauhatukseen. Näin näyttäisi käyvän, kun katsotaan kuidun leveyden kehittymistä jauhatusten funktiona (kuva 6). Periaatteessa tämän pitäisi myös näkyä WRV-arvossa, joka kuvaa kuituihin sitoutuneen veden määrää, joka puolestaan korreloi fibrilloitumisen kanssa. WRV:n ja sisäisen fibrillaation vastaavuuteen vaikuttaa kuitenkin useita eri häiriötekijöitä, eikä ko. vastaavuudesta ole olemassa aivan selkeää näyttöä (Maloney 2000). Sen sijaan NMR-mittauksen ja sisäisen fibrillaation yhteydestä on olemassa selkeämpää näyttöä (Maloney 2000). Näistä näytteistä tehdyt alustavat NMR-mittaukset indikoivat, että puristusjauhatusta aiheuttaa huomattavasti enemmän sisäistä fibrillaatiota verrattuna teräjauhatukseen. Sisäinen fibrillaatio vaikuttaa kuitujen sisällä olevien huokosten määrään ja kokojakaumaan, ja ko. näytteistä on tehty myös kuitujen sisäistä huokosjakamaa kvantifioivia mittauksia Aalto-yliopistossa.



KUVA 6. Kuidun leveyden ja WRV-arvon (Water Retention Value) kehittyminen eri jauhatustavoilla.

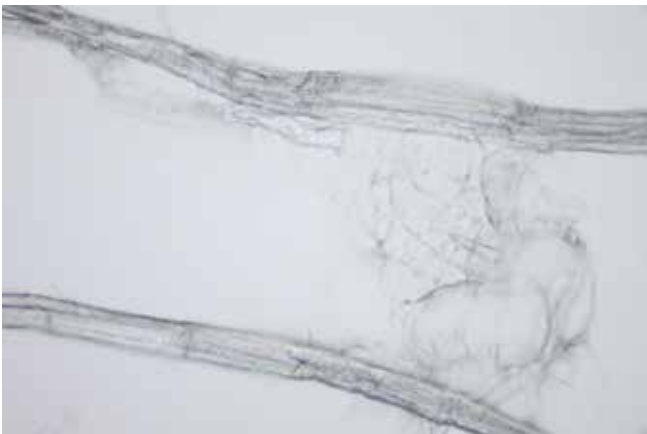
Kuiduista otetuissa mikroskooppikuvissa havaitaan myös merkittäviä eroja eri jauhatustapojen välillä (kuva 7). Visuaalisesti havainnoituna puristusjauhatusta muokkaa kuituja selvästi voimakkaammin ja samalla muodostuu suhteellisen isokokoista fibrilloitumatonta hienoainetta. Teräjauhatuksessa puolestaan kuidussa ei havaita merkittäviä visuaalisia muutoksia. Sen sijaan teräjauhatuksessa muodostuu hyvin hienojakoista ja voimakkaasti fibrilloitunutta hienoainetta.



A)



B)



C)

KUVA 7. Mikroskooppikuvia jauhetuista kuiduista. A) Jauhamaton kuitu. B) KID-jauhatus, SR-luku 30. C) Levjajauhatus, SR-luku 40 (kuva Kuitulaboratorio).

JOHTOPÄÄTÖKSET JA YHTEENVETO

Tulokset antavat hyvin selkeän kuvan kuitutason eroista KID-puristusjauhatuksessa ja teräjauhatuksessa. KID-puristusjauhatuksessa kuidut saavat todennäköisesti huomattavasti kovempia iskuja verrattuna teräjauhatukseen, mistä johtuen, ja aiemmista puristusjauhatusta koskevista tutkimuksista ja olettamuksista poiketen, kuidut katkeilevat enemmän ja hienoainetta muodostuu enemmän kuin teräjauhatuksessa. Hyvin todennäköisesti KID-puristusjauhatuksessa kuituihin aiheutuu myös enemmän sisäistä fibrillaatiota verrattuna teräjauhatukseen. Havainnot ovat sinänsä merkittäviä, koska erilainen jauhatustulos antaa paljon mahdollisuuksia muunnella jauhatustapahtumaa yhdistelemällä näitä eri jauhatusmenetelmiä sekä optimoimalla näissä vaikuttavia muuttujia. Puristusjauhatuksessa esiintyvien muuttujien vaikutuksia on tähän mennessä tutkittu hyvin vähän, ja esim. säätämällä kuituihin vaikuttavia voimia saattaisi olla mahdollista lieventää kuitujen ominaisuuksia huonontavia tapahtumia mutta kuitenkin tuottaa merkittävässä määrin sisäistä fibrillaatiota. Tutkimukset jatkuvat selvittämällä puristusjauhatuksessa esiintyvien muuttujien vaikutuksia jauhatustulokseen, tekemällä jauhatuksia, joissa puristusjauhetun massan jauhatusta jatketaan teräjauhalla, sekä analysoimalla tarkemmin puristusjauhatuksen vaikutuksia kuituseinämän ominaisuuksiin yhteistyössä Aalto-yliopiston kanssa.

LÄHTEET

Casey, J.P. 1960. Pulp and Paper - Chemistry and Chemical Technology. Vol.2. Interscience Publishers, Inc., New York, USA, 687–689.

Dekker, J. 2007. Compression refining, theory and practice. International Pulp Refining Seminar 2007. Espoo. 24–28.

Dekker, J., Bouma, H., Hooimeijer, A. 2007. Compression refining: the energy saving breakthrough in papermaking technology. Pulpaper 2007 Conference. Fiber modifications and brightening. Helsinki.

Ebeling, K. 1980. A critical review of current theories for the refining of chemical pulps. International Symposium of Fundamental Concepts of Refining. Institute of Paper Chemistry, Appleton, USA, 1–36.

Eibinger, K., Eichinger, R., Bauer, W. 2005. Development of pulp properties by "impulse refining": a friction-free compression treatment. PTS Paper Symposium, Munich, Germany.

El-Sharkawy, K., Haavisto, S., Paulapuro, H. 2008. The influence of a calendering pre-treatment on the refining of chemical softwood pulps, Appita vol. 61, no. 1, Jan. 2008, 41.

Giertz, H.W. 1980. The influence of beating on individual fibers and the causal effects on paper properties. International Symposium on Fundamental Concepts of Refining. Institute of Paper Chemistry, Appleton, USA, 87–92.

Goosen, D.R., Olson, J.A., Kerekes, R.J. 2007. The role of heterogeneity in compression refining. J. Pulp Paper Sci. 33 (2007) 2, 1–5.

Hartman, R.R. 1984. Mechanical treatment of pulps for property development. Doctoral Thesis, Institute of Paper Chemistry, Appleton, USA, 127.

Hietanen, S. 1991. The role of fiber flocculation in chemical pulp refining. Paperi Puu 73 (1991) 3, 249–259.

Higgins, H.G. and de Yong, J. 1961. The beating process – primary effects and their influence on paper properties. Formation and Structure of Paper, Transactions of the 2nd Fundamental Research Symposium, Oxford, U.K., 651–690.

Kerekes, R.J. 2010. Energy and forces in refining. J. Pulp Paper Sci. 36 (2010) 1–2, 10–15.

Lossada, A. A., Formento, J. C., Pino, A. L. 2001. Refining selected actions on chemical pulps in a PFI beater. Part I: effects of radial compression stresses, *Paperi Puu* 83 (2001) 4, 326–331.

Maloney, T. 2000. On the pore structure and dewatering properties of the pulp fiber cell wall, Dissertation. Helsinki University of Technology, Department of Forest Products Technology, Laboratory of Paper Technology.

Paavilainen, L. 1993. "Conformability - Flexibility and Collapsibility – of Sulphate Pulp Fibres." *Paperi Puu* 75 (1993) 9, 689–702.

Page, D.H. 1989. The beating of chemical pulps – the action and the effects, *Papermaking Raw Materials*, Transactions of the 9th Fundamental Research Symposium, Cambridge, U.K., 1–37.

Seo Y. B., Choi C., Jeon Y. 2003. Effect of mechanical pretreatment on fibre properties, *Appita* 56 (2003) 5, 371.

Seo Y. B., Jeon Y., Shin Y. C., Kim D. 2002. Effect of mechanical impact treatment on fibre morphology and handsheet properties, *Appita* vol. 55, no. 6, Nov. 2002b, 475.

Tasman, J.E. 1966. The mechanical modification of papermaking fibers, *Pulp and Paper Magazine Canada*, Dec. 1966, 553.

Wang, X., Maloney, T.C., Paulapuro, H. 2007. Fibre fibrillation and its impact on sheet properties. *Paperi Puu* 89 (2007) 3, 148–151.

TUKKIHAUTOMOLIETTEEN KÄSITTELY JA LIETTEEN JATKOKÄYTÖN MAHDOLLISUUKSIA

Markku Kuosa & Riku Kopra

Kiristyneiden ympäristönormien vuoksi kuorilietettä ei saa nykyään varastoida kaatopaikalle käsittelemättömänä. Tästä johtuen on kuorilietteelle kehitettävä muita hyödyntämistapoja. Lietteen sisältämä hiekka estää lietteen polton sellaisenaan. Tutkimuksilla on pystytty osoittamaan, että kuorilietteen sisältämää hiekkaa voidaan vähentää siinä määrin, että lietteen käyttö polttoaineena on mahdollista. Lisäksi kuorilietteen käyttö maanparannusaineena alkaa olla varteenotettava vaihtoehto. Tutkimisen arvoisia ovat myös muut sekä kuoren että lietteen jatkojalostusmenetelmät tukkihautomolietteen hyödyntämisessä. Tutkimustyön on toteutettu Teollisuuden lietteiden energia- ja materiaalitehokkuuden parantaminen (TEOLI)-hankkeessa ajalla 1/2016–12/2017. Hankkeen päärahoittaja oli Etelä-Savon Elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus (Euroopan aluekehitysrahasto). Hankkeen muut kumppanit olivat UPM-Kymmene Wood Oy, Metsä Group, Aquaflow Oy, Janesko Oy, Stora Enso Oyj, Savonlinnan yrityspalvelut Oy ja Suur-Savon Energiasäätö.

TAUSTAA

Useilla vaneritehtailla tukit haudotaan vesialtaissa, jotta kuoren irrotus helpottuu ja puu pehmenee jatkoprosesointia varten. Haudonnassa huomattava määrä kuorta ja puuainesta päätyy hautomoaltaan pohjalle. Pohjalle päätyy myös huomattava määrä hiekkaa, kiviä ja muuta epäorgaanista ja orgaanista ainesta tukkien mukana. Hiekan ja muiden partikkeleiden kulkeutuminen on yleinen ilmiö erityisesti pohjoisilla leveysasteilla, joilla lumi ja jää lisäävät partikkeleiden kiinnittymistä tukkeihin.

Hautomolietteen pohjalle päätyvä liete (kuoriliete) poistetaan yleensä kerran vuodessa maansiirtokoneilla tai vaihtoehtoisesti ruoppaamalla. Tämän jälkeen hautomoliete varastoidaan kuivauskentälle alustavaa kuivausta varten (kuva 1).



KUVA 1. Tukkihautomolietettä kuivauskentällä (kuva UPM).

Tukkihautomolietteen määrä ja laatu asettavat rajoituksia sen jatkosijoitusmahdollisuuksille. Allasvarastointi sopii paremmin vähän kiintoaineita sisältäville lietteille. Maantäyteaineeksi sen sijaan kuoriliete sisältää liikaa orgaanista ainesta.

Tyypillisesti vaneritehdas, jonka kapasiteetti on 100 000 m³, tuottaa 500 tonnia pohjalietettä vuodessa. Tavallisimmat lietteen jatkosijoitusmenetelmät ovat olleet käyttö täytemaana tai polttaminen (Scot & Smith 1995). Nykyään useissa maissa lainsäädäntö asettaa tiukat rajat käsittelemättömän lietteen käytölle täytemaana (Disposal and recycling routes for sewage sludge Part 2, 2001, Code of good practice for landspreading paper mill sludges, 2001). Lisäksi lainsäädäntö, ympäristösytyt, maine sekä viimekädessä myös taloudelliset tavoitteet pakottavat yrityksiä etsimään uusia menetelmiä lietteen käsittelemiseksi. Puunjalostusteollisuudessa tavallinen käytäntö on polttaa liete kuivausprosessin jälkeen.

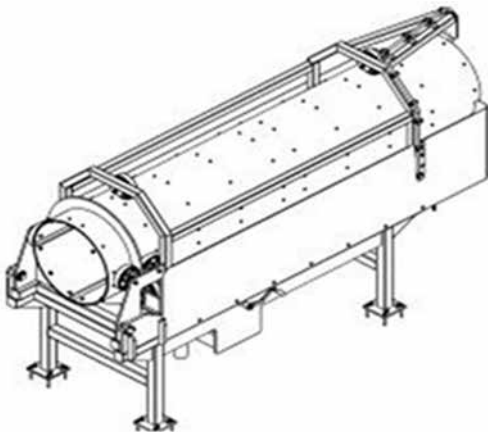
Este pohjalietteen poltolle voimalaitoksissa on se, että se sisältää tyypillisesti 5–15 % hiekkaa ja muita epäorgaanisia aineksia. Leijupedillä varustetuissa voimaloissa pedin ja polttoaineen mukana tulevan hiekan sekoittuminen voi olla epätoivottavaa esimerkiksi segregaaion takia. Epäorgaaninen aines (tuhka) voi aiheuttaa agglomeroitumista leijupedissä (Montes 2014). Polttoaineen korkea hiekkapitoisuus voi aiheuttaa polttokammion arinoiden tukkeutumista, polttoaineen käsittelylaitteiston eroosiota, lämmönsiirtolaitteiden kulumista sekä kohonnutta partikkeliemissiota savukaasun mukana (McGovan 2011). Teknisten syiden lisäksi hiekka ja tuhka on eroteltava orgaanisesta aineksesta polttoaineen polttoarvon lisäämiseksi taloudellisuus- ja ympäristösyistä.

HIEKAN EROTUS LIETTEESTÄ

Perinteiset hiekanerotusmenetelmät perustuvat yleensä partikkeleiden kokoeroon (seulonta) ja partikkeleiden tiheyseroon (laskeutus) (EPA 1998, Burcham ym. 1997). Hydrosykloneita (Mouri ym. 2004) ja leijupetejä (Gray 2017) käytetään hiekan erottamiseksi lietteestä, mutta ne ovat melko energiantensiivisiä tekniikoita. Lisäksi joissakin menetelmissä osaksi menetetään poltettavaa orgaanista massaa (seulonta).

Jatkokäytön asettamien vaatimusten vuoksi lietteestä erotettava hiekka tulee poistaa mahdollisimman puhtaana jakeena. Täytemaa-aineksena käytettäessä hiekan orgaanisen aineksen pitoisuus saa olla korkeintaan 3 %. (Ylikyyny 2014).

Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulun (Xamk) Kuitulaboratoriossa kehitettiin Teoli-projektissa hiekanerotusmenetelmä, jossa orgaanisen aineksen hävikki on käytännössä olematon (Kuosa ym. 2018). Prosessi koostui pesureilla varustetusta rumpukuljettimesta ja tämän jälkeisestä lyhytkestoisesta laskeutuksesta vesialtaassa. Rumpukuljettimen rakenne on esitetty kuvassa 2. Laboratoriokokeissa havaittiin, että pieni määrä vettä oli välttämätöntä hiekan irrottamiseksi kuoresta. Pilot-kokeissa hiekkapitoisuus lietteessä väheni yli 7 %:sta 0,45 %:iin (koivu) ja noin 4 %:sta 0,95 %:iin (kuusi), joskin prosessia on mahdollista vielä tehostaa. Saavutetut hiekkapitoisuudet ovat niin alhaisia, että liete on polttokelpoista arinapolttoa käyttävissä voimalaitoksissa. Rumpukuljettimella saatu vedenkulutus oli 0,07 m³/tonni kuorilietettä. Laitteiston energiankulutus on hyvin pieni esimerkiksi hydrosykloniin verrattuna.



KUVA 2. Rumpukuljettinpesuri (kuva Makron Oy).

KUORILIETTEEN PELLETOINTI POLTTOAINEEKSI

Puusta on pitkään valmistettu polttoaineeksi ja rakennusteollisuuden raaka-aineeksi pellettejä (white pellets). Näiden pellettien haittapuoli on se, etteivät ne kestä hyvin ilmankosteutta ja mekaanista käsittelyä. Kuusen ja männyn kuoresta voidaan höyryräjäytysprosessilla valmistaa pellettejä (black pellets), joiden kosteudensiedon ja mekaanisen kestävyuden ominaisuudet ovat ylivoimaisia verrattuna perinteisiin puupelletteihin (Erixon ym. 2018). Valmistusprosessissa erotellaan hienoaines pois, jolloin saadaan vähennettyä hiekan ja tuhkan määrää ennen höyryräjäytystä. Vastaava prosessi voisi mahdollisesti sopia myös tukkihautomolietteen polttoarvon nostamiseen. Tähän esikäsittelyä sopisi Xamkissa kehitetty kuorilietteen hiekanerotusprosessi (Kuosa ym. 2018).

KUORILIETTEEN KÄYTTÖ MAANPARANNUSAINENA

Murskattua kuorilietettä on eräiden yritysten toimesta alettu markkinoida maanparannusaineena. Tässä lähtökohtana on ajatus siitä, että puun kuoriliete on puhtaasti luonnontuote. Pitkäkestoiset käyttökokemukset näyttävät tämän maanparannustuotteen toimivuuden ja mm. käytön kannalta sopivat sekoitusosuudet muuhun maa-ainekseen ja mahdollisiin lannoitteisiin esimerkiksi metsämaan parannuksessa. Eräät maaperän parannusaineet, kuten biohiili ja puunkuori, voivat sitoa raskasmetalleja maaperään, jolloin ne saattavat vähentää raskasmetallien aiheuttamaa riskiä kasveille, eläimille ja ihmisille. Ainakin lyhytkestoisesti on saatu myönteisiä tuloksia käytettäessä fosfaattilannoitteita ja männyn kuorta kontrolloitaessa metallien ja metalloidien liikkuvuutta maaperässä, jotka sisältävät monimetallisia seoksia tai monimineraalisia kaivosjätteitä (Munksgaard ym. 2010). Kuorilietteen prosessointia biohiileksi esimerkiksi maanparannukseen ja tätä kautta myös hiilen sidontaan kannattaisi tutkia.

AKTIIVIHIELEN VALMISTUS LIETTEESTÄ

Aktiivihieksen valmistusta lietteestä on tutkittu viimeisen kahdenkymmenen vuoden aikana maailmalla laajasti. Prosessin raaka-aineena toimii jäte, jonka vuoksi prosessoinnilla voidaan saavuttaa huomattava jalostusasteen ja -arvon nousu. Tällöin muuhun käyttöön kelpoista raaka-ainetta ei tarvitse siirtää esim. jätevedenkäsittelylaitokseen. Kuorilietteen käyttöä kannattaa tutkia aktiivihieksen raaka-aineena, sillä puun kuoresta ja biolietteestä on jo valmistettu aktiivihieksi hyvällä menestyksellä (Mahaparta ym. 2012, Zhang ym. 2014, Al-Qodah ym. 2009).

JOHTOPÄÄTÖKSET

Kuorilietteelle on tunnistettu useita jatkojalostusmahdollisuuksia, joista tässä artikkelista on mainittu vain murto-osa. Kuorilietteen poltto ja käyttö maanparannusaineena näyttävät mahdollisilta hyödyntämistavoilta, jotka eivät vaadi suuria investointeja. Jatkojalostuksen menetelmiin tarvitaan ennakkoluulotonta ja määrätietoista soveltavaa tutkimusta.

LÄHTEET

Al-Qodah ja Shawabkah. 2009. Production and characterization of granular activated carbon from activated sludge, *Braz J Chem Eng* 26 (1), 1678–4383.

Burcham T. N., Gill S. K., Moore R. B. 1997. Comparison of dairy manure separation technologies. ASAE Paper No. 974050. American Society of Agricultural Engineers, St. Joseph, MI.

Code of good practice for landspreading paper mill sludges, Confederation of Paper Industries, March 2014.

Disposal and recycling routes for sewage sludge Part 2 – Regulatory report, Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities, 2001.

EPA 833-F-98-002 1998 (Office of water 4204).

Erixin M., Björklund P. 2018. Steam exploded pellets made from bark and residues – a new possible value stream for the pulp and paper industry, *Appita J*, 71 (3), 236–241.

Gray N. 2017. *Water Science and Technology: An introduction* (4th ed.) CRC Press.

Krogell J., Holmbom B., Pranovich A., Hemming J., Willför S. 2012. Extraction and characterization of Norway spruce inner and outer bark, *Nord Pulp Pap Res J* 27 (1).

Kuosa M., Kopra, R. 2018. A solution for a treatment of bottom sludge from a log-soaking pond for separation of sand. *Nord Pulp Pap Res*, accepted for publication.

McGowan F. T. (Ed.). 2011. *Biomass and Alternate Fuel Systems, An engineering and economic guide* AICHe © John Wiley and Sons, Hoboken, New Jersey.

Mahapatra, K., Ramteke D.S., Paliwali L.J. 2012. Production of activated carbon from sludge of food processing industry under controlled pyrolysis and its application for methylene blue removal, *J An and Apl Pyrol*, 95, 79–86.

Montes A. 2014. Factors affecting agglomeration in bubbling fluidized bed biomass boilers, Doctoral thesis, University of Western Ontario.

Mouri M, Tanaka M, Akagi H. 2004. Modeling of hydrocyclone circuit on particle Separation during soil washing, *J. JSWE* 27 (8), 535–540.

Munksgaard N.C., Lottermoser B.G. 2010. Effects of wood bark and fertilizer amendment on trace element mobility in mine soils, Broken Hill, Australia: implications for mined land reclamation *J Environ Qual*, 39 (6), 2054–62.

Scott G. M., Smith A. 1995. Sludge characteristics and disposal alternatives for the pulp and paper industry, *Proceedings of the International environmental conference*; May 7–10; Atlanta, GA: TAPPI Press, 269–279.

Sludge management in pulp and paper industry, Government of Canada publications, En1-17/4-1993E 1993.

Ylikyyny T. 2014. Hiekanerotuksen ja hiekkapesuriprosessin kehittäminen Turun seudun puhdistamo Oy:ssä, Opinnäytetyö, Turun ammattikorkeakoulu.

Zhang J., Zhang W. 2014. Preparation and characteristics of activated carbon from wood bark and its use for adsorption of Cu (II), *Mat Sci* 20, 4, 1392–1320.

ONLINE MONITORING OF THE WOOD-DRYING PROCESS BY SINGLE-SIDED NMR

Ekaterina Nikolskaya & Anti Rohumaa & Yrjö Hiltunen

Controlling the wood-materials drying process is highly important from the point of view of the economics that surround the process. It would be valuable to be able to monitor the variations in water and moisture content levels and any changes in the structure of the products. There is a need for a method which could provide this information rapidly. The approach to online monitoring when it comes to the wood-drying process by using single-sided NMR technology was demonstrated in the current work. The results showed that the single-sided NMR technique can be used for the robust and rapid online determination of water content in wood during the air-drying process, and that this can be considered as being a routine instrument for testing wood quality in the production of various wood materials.

INTRODUCTION

The drying process is one of the most important stages in the production of veneer and plywood. Controlling this process is critical in order to be able to produce a high-quality product with the required moisture level (Estonian Timber). Traditionally, the oven-drying method is used to measure the water content of wood and wood-based products. In spite of the robustness of this approach, it is time-consuming and sample-destructive.

Measuring water in wood and wood-based materials is a process that can be handled by NMR. Time-domain NMR has shown itself to be a very robust approach for measuring the water content in wood (Nikolskaya et al. 2012). NMR imaging (MRI) can also be implemented when it comes to measuring water distribution in porous materials. The MRI technique was recently applied in FiberLaboratory (Nikolskaya et al. 2017). These NMR methods are non-invasive and non-destructive; however, they do require some simple sample preparation procedures to be carried out. The technology that is based on single-sided NMR has all of the aforementioned advantages, while also not requiring any preliminary preparation work for samples, and having no limitations in terms of sample size. Also, due to the light weight and small size of the sensor, it can easily be moved to the site of the object that is to be measured. Moreover, this technique allows measurements to be provided for NMR parameters at different penetration depths inside the sample. Single-sided NMR potentially has a vast range of industrial application, such as quality control in the food

industry. The important directions being taken in terms of this method are cultural heritage analysis and the investigation of porous materials.

SAMPLES AND METHODS

A single-sided NMR sensor from Resonance Systems Ltd was used for the NMR measurements. The maximum depth of penetration for this sensor is approximately 3mm. The sensitive slice is about $20 \times 20\text{mm}^2$ in the central area of the sensor. The NMR sensor was tuned and calibrated so that the maximum sensitivity was at the thin slice, at about 1.3mm over the surface. This corresponds to the frequency of ^1H protons of 19.4MHz. A standard pulse sequence CPMG was used to measure NMR magnetisation decays. Measurements were carried out every three minutes.

To be able to gain proper calibration between the NMR parameters and the water content levels, softwood pieces of a thickness of about 2mm and approximate dimensions of 30 x 30mm were soaked in water for different lengths of time, and then kept on an aluminium plate under parafilm for fifteen minutes prior to NMR measurements. Subsequently the samples were placed on the surface of the NMR sensor, covered by a thin parafilm layer and, after the measurements had been carried out, the water content of the pieces of wood were determined by fast drying in an infrared heating system.

RESULTS AND DISCUSSION

The single-sided NMR sensor consists of a set of magnet bars which are of a special geometry and organisation, so that a magnetic field is generated in the nearly parallel plane to the surface of the sensor (the X-Y plane in Figure 1). Such equipment possesses highly inhomogeneous magnetic field. A static gradient is generated above the surface in a direction that is perpendicular to the surface (the Z direction in Figure 1). This provides the option to be able to measure 1D profiles across the depth variation.

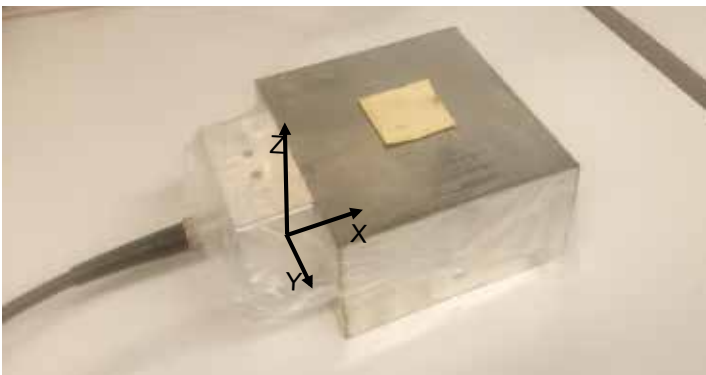


FIGURE 1. A single-sided NMR sensor with a dry wood sample on top of it (photo Ekaterina Nikolskaya).

The filtered NMR magnetisation decays that were measured during different drying stages for a wood sample are shown in Figure 2. Because the sample thickness was very small, more accumulations than usual were needed in order to be able to obtain a good signal-to-noise ratio.

Measured signals were fitted by mono-exponential functions, and the spin-spin relaxation time T_2 values were solved. It can be seen in Figure 2 that the fastest decaying signal with the shortest T_2 corresponds to the driest sample. This is consistent with the NMR relaxation theory according to which, briefly, T_2 is the characteristic of the mobility of ^1H protons. A longer T_2 value corresponds to a higher molecular mobility. When a wood sample is soaked in water, larger fraction of free water are contained in the sample and so the observed T_2 is longer. When the sample is dried, water is left in the smaller pores, and its mobility is restricted, so T_2 is shorter.

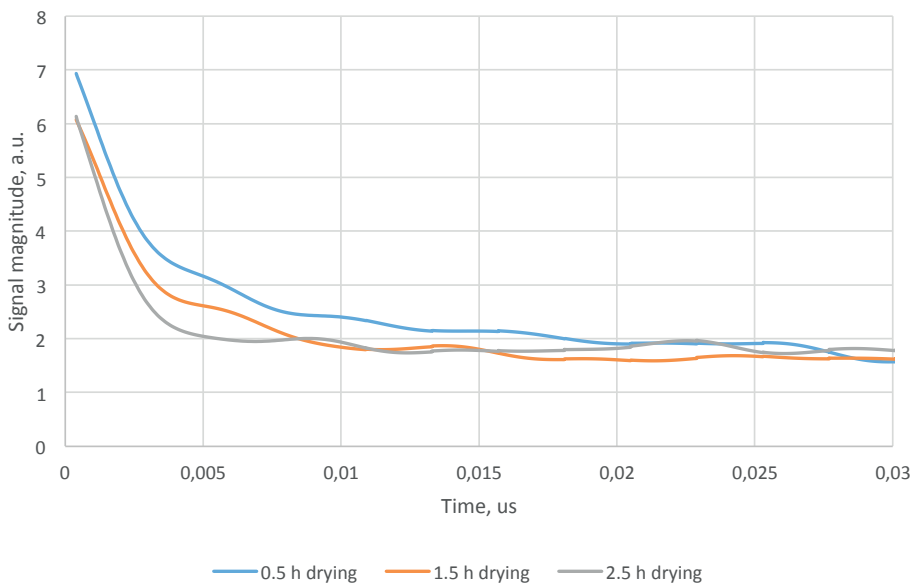


FIGURE 2. Filtered NMR magnetisation decays measured at different drying stages in a wood sample.

+

Prior to the drying tests, a calibration was carried out between the water contents and NMR parameter (the spin-spin relaxation time). Several NMR pulse sequences and measurement settings were tested so that the best measurement conditions could be discovered. The spin-spin relaxation time T_2 showed a linear correlation with water content with quite a high correlation coefficient ($R = 0.9791$). The calibration between water content and relaxation time T_2 is given in Figure 3.

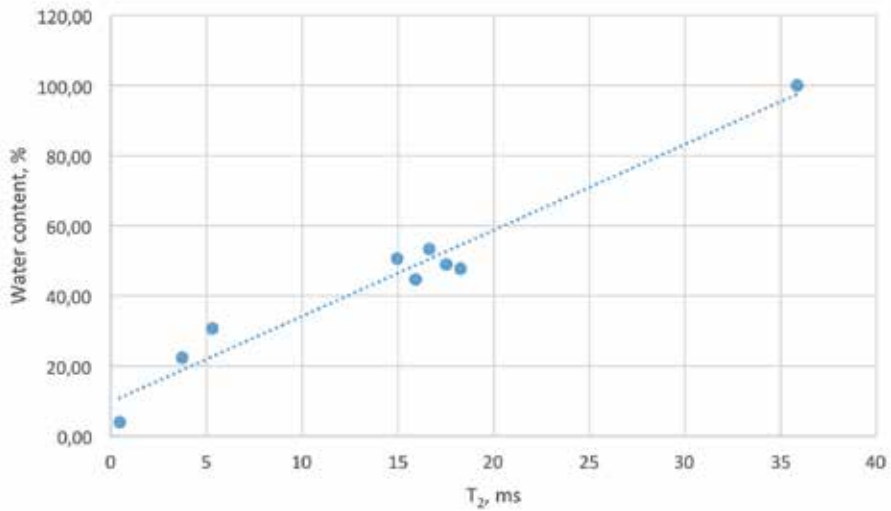


FIGURE 3. Calibration between spin-spin relaxation times and water content.

Then the wood sample was soaked in water, placed on the surface of the sensor covered with parafilm, and NMR magnetisation decays were measured continuously during a span of six hours. Acquired decays were fitted by mono-exponential functions, and T_2 values were acquired. The calibration was applied between water content levels and NMR parameters, and the drying process could therefore be monitored online (Figure 4). It can be seen in Figure 4 that, during the first two and-a-half hours, water evaporation was rapid, but after that evaporation slowed down and the moisture content of the wood reached equilibrium conditions.

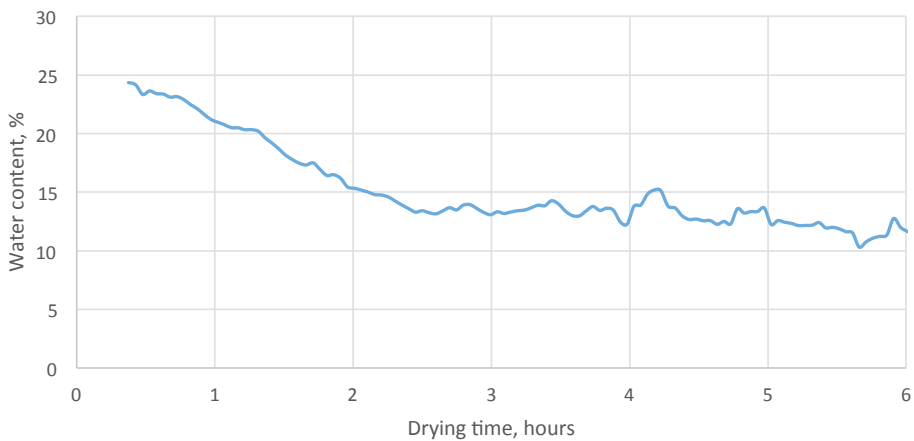


FIGURE 4. Online monitoring of the wood-drying process as measured by single-sided NMR.

The acquired preliminary results show that single-sided NMR is a promising technique in terms of analysing the water content in wood and observing its drying process. However, more studies should be carried out using different wood materials so that more general calibration models can be built up between water content and NMR parameters.

In our further investigations, the measurement of water distribution in the wood samples is going to be tested. This will provide information about pore size distribution and will also characterize the wood-drying process in more detail. The 2D drying profile of the wood will also be measured. Changes in the X or Y direction can be achieved by moving the sample or the sensor. Changing the depth of penetration (the Z direction) into the sample can be reached by varying the frequency of the sensor or by changing the distance between the sensor surface and the sample when measurements of the same slice in the Z direction are done. The sensor should be further attuned and calibrated to receive an accurate correlation between frequency and penetration depth.

CONCLUSIONS

For the development of a real application that is based on this NMR technology so that the drying process can be monitored, precise sensor calibration, finding a proper measurement and fitting conditions which supply minimum error levels, and accurate models between NMR parameters and the water content of different wood types is something that will be required. However, the applicability of single-sided NMR technology for the measurement of the water content of wood and the online monitoring of its drying was clearly demonstrated in this paper.

REFERENCES

Estonian timber. <https://estoniantimber.ee/best-practices/manufacturing-process-of-veneer-and-plywood/> [Accessed 22.10.2018].

Nikolskaya E., Hiltunen Y., Grunin L. 2012. Time-domain NMR Method of Water Content Determination of Wood and Peat Based Fuels for On-line Process Control. The 53rd ENC Experimental Nuclear Magnetic Resonance Conference, Miami, Florida, April 15-20.

Nikolskaya E., Liukkonen M., Hiltunen Y. 2017. MRI-KUVANTAMINEN TEOLLISUUSSOVELLUKSISSA. P. 302-306. Hanne Soininen & Lasse Pulkkinen (toim.) METSÄ, YMPÄRISTÖ JA ENERGIA. SOVELTAVAA TUTKIMUSTA JA TUOTEKEHITYSTÄ. VUOSIJULKAISU.

Resonance Systems Ltd. <http://www.nmr-design.com> [Accessed 22.10.2018].

IIOT- JA AR-TEKNOLOGIAN HYÖDYNTÄMINEN KASVUEKO- SYSTEMIN KEHITTÄMISESSÄ

Rauli Haataja & Kari Kärkkäinen & Arttu Lehtinen

BIOKASVU-projektissa yhtenä osa-alueena suunnitellaan ja otetaan käyttöön mm. teollisen internetin sekä lisätyn todellisuuden sovelluksia ns. DigiFiber-kokeilu- ja liiketoiminta-alustan avulla. Biotuotetekniikan koe- ja kokeiluympäristö digitalisoidaan ja kehitysympäristössä toteutetaan yhteistyössä yritysten kanssa uuden teknologian kokeiluja, jotka liittyvät mm. prosessien tehokkuuden parantamiseen, on-line-huoltotoimintojen kehittämiseen sekä kuituliiketoiminnan palvelujen digitalisointiin. Artikkelissa on kuvattu tarkemmin metsäteollisuuden digitalisaation ja tekoälyn taustaa sekä avattu enemmän hankkeen konkreettisia suunnitelmia niiden hyödyntämisessä.

METSÄTEOLLISUUDEN DIGITALISAATION JA TEKÖÄLYN LYHYT HISTORIA

Metsäteollisuuden digitalisaatio seuraa jo vuosikymmeniä sitten käynnistynyttä globaalia megatrendiä. Sen ensiaskeleet teollisuusautomaatiossa otettiin uusien väylä- ja verkkoteknologioiden sekä ns. älykkäiden anturien ja uusien digitaalisten säätö- ja signaalinkäsittelymenetelmien (*DCS/DSP, digital control systems/digital signal processing*) ja adaptiivisen reaaliaikasadäön levitessä ensin lähinnä kappaletavara-automaatioon, mutta pian myös metsäteollisuuden eri sektoreille ja muuhun prosessiautomaatioon.

Uudet tehtaaneläajuiset (*mill wide*) järjestelmät kehittyivät jo 1980-luvulla nopeasti, kun tuottajien tavoittelemat energiansäästöt, päästöjen vähentäminen ja raaka-aineiden säästöt ja toisaalta tuolloin uudet organisaatio- ja asiakastarvelähtöiset kokonaisvaltaiset laatu-järjestelmät, kuten **TQC** (*Total Quality Control*) sekä **QFD** (*quality function deployment*), alkoivat yleistyä ja levitä kaikkiin teollisuusmaihin Aasiaa myöten. Suomalaisyritysten kansainvälinen menestys rakentui sekä omaan innovatiivisuuteen ja korkeaan osaamiseen että kansainväliseen teknistieteelliseen kehitykseen ja hedelmälliseen vuorovaikutukseen muiden läntisten teollisuusmaiden ja yritysten kanssa.

Teknologinen ja taloudellinen kehitys ja yritysten kyky omaksua uusinta digitaalitekniikkaa – mukaan lukien tekoäly – oli silmiinpistävän ripeää etenkin Japanissa, mikä alkuun yllätti monet eurooppalaiset ja länsimaiset toimijat. Perinteisten teollisuusmaiden suur-

yri­tysten kohdalla digitaalinen transformaatio eteni jopa hitaammin johtuen luultavasti analogisen ja sähkö- sekä koneteknologian vahvasta yritys­kulttuurisesta valta-ase­masta ja hieman konservatiivisemmista toimintatavoista. Informaatioteknologian ketterät strategiat, johtamisjärjestelmät ja modernit TKI-menetelmät toimivat markkinoilla tehokkaammin ja selkeästi tuottavammin.

Tehtaanlaajuiset automaatiojärjestelmät kehittyivät alkuun keskitetyistä hajautetuiksi, mihin liittyi vahvana ajatus, että älyä pitää viedä tuotannossa laitetasolle, ettei tiedonsiirto muodostaisi automaatioissa seuraavaa pullonkaulaa. Niin voitiin maksimoida paikallinen laskenta ja siirtää vain välttämätön informaatio ylemmäs tuotannonohjausjärjestelmiin sekä asiakkaille, huolto-organisaatioille, laadunvalvontaan, suunnitteluun ja viranomaisille tms. viiteryhmille.

Tietoliikenteen ja datankäsittelyn nopeutuessa laitearkkitehtuurien merkitys on kuitenkin tavallaan taas pienempi, koska tiedonsiirto voidaan hoitaa edullisesti ja lähes etäisyydestä riippumatta. Ohjelmistoja ei tarvitse enää viedä välttämättä laitteisiin, koska laitteet voidaan nyt liittää pilvipalveluihin. Kuitenkin luotettavuus- ja turvallisuusnäkökulmista, kuten kyberuhista, katsoen on prosessitiedon mittausten­käsit­te­ly ja muukin ohjaustoimintoihin liittyvä laskenta sekä optimointi yleensä järkevintä yhä suorittaa paikallisesti eikä keskitetysti.

KOHTI TEOLLISTA INTERNETIÄ

Teollisia tietojärjestelmiä voidaan harvoin muuttaa kertarysäyksellä, joten teko­älysovellukset kehittyivät usein asteittain ja kytkeytyivät ensin tueksi vanhojen järjestelmien rinnalle sen sijaan, että olisivat toimineet irrallisena osana erilaisia automaatio- tai ohjausjärjestelmiä. Esimerkiksi konenäköjärjestelmät olivat alkuun tyypillisesti tällaisia valvomojen tukijärjestelmiä, joiden tarkoitus oli helpottaa ja tukea prosessioperaattoreiden työtä, eikä varsinkaan korvata heitä tehtaalla. Toki tilanne saattoi teknologisen kehityksen vauhdissa muuttua jos­sain (kuten robotiikka automaattisessa kokoonpanossa) nopeasti, mikäli teollisuuslaitosten toimintakulttuuri ja työyhteisö mahdollistivat teko­älyjärjestelmien käytön.

Älykkäät graafiset käyttöliittymät alkoivat korvata teollisuusautomaatioissa erilaisia vanhoja käyttäjäpaneelita tai tavanomaisia prosessitietokoneiden näyttöpäätteitä, jotka oli kytketty yleensä teollisuusväylien kautta aluksi *main frame* -tietokoneisiin ja jatkossa *client-server*-pohjaisiin verkkoihin. Työasemien suorituskyvyn kasvaessa ne saattoivat toimia myös palvelimen roolissa ja ohjata muita tietojärjestelmiä esimerkiksi liittyen mitta­usjärjestelmiin, suunnitteluun, tuotannonohjaukseen tai tiedonhallintaan. Teollinen Internet muodostaa tavallaan vain hajautettujen automaatiojärjestelmien loogisen jatkumon.

Mittaustiedon käsittely ja prosessin erilaisten aikasarjojen ja tilatietojen tilastollinen analyysi kehittyivät nopeasti osaksi valvomosovelluksia. Niillä helpotettiin paitsi prosessienohjausta,

usein myös kunnossapitoa ja ylempään tason tuotannonohjausta. Erilainen prosesseista tai tuotantolinjoista saatu video- tms. kuva-aineisto helpotti sekä prosessienvälitystä että tuotannon laadunohjausta, ja sitä voitiin siirtää myös toimipisteiden välillä sekä tarvittaessa asiakkaiden, huolto-organisaatioiden tai muiden yhteistyökumppanien tarpeisiin.

Laitevalmistajat rakensivat omia etävalvonta-keskuksiaan (*remote monitoring systems*), jotka kykenivät tekemään vikadiagnostiikkaa verkkojen läpi jopa toisista maanosista. Suurimmita tietokonevalmistajilla (*DEC, HP, IBM*) oli esimerkiksi jo 1980-luvun lopulla käytössä diagnostiikkakeskuksia, jotka valvoivat yritystensä sekä asiakkaidensa järjestelmiä samasta keskuksista, esimerkiksi koko Euroopan alueella, välittäen toimeksiantonsa automaattisesti eri valtioissa toimiville huolto-organisaatioille. Myös teollisen Internetin eräs päätavoitteista on mahdollistaa *etäkunnossapito*, jossa etäasiantuntijat ohjaavat verkon läpi paikallisia operaattoreita sekä ylläpidossa että häiriö- tai poikkeustilanteissa. Uudet AR (*Augmented Reality*)-, VR (*Virtual Reality*)- ja MR (*Mixed Reality*)-teknologiat voivat jo lähitulevaisuudessa merkittävästi helpottaa edellä kuvattua toimintaa. (Almqvist 2018, Martinsuo & Kärri 2017, Santos ym. 2017)

KOHTI UUTTA PILVIPOHJAISTA VALVOMOTEKNOLOGIAA

Valvomo-ohjelmistoissa voidaan nykyisin keskittyä yhä enemmän tuotannon- ja laadunohjauksen vaativiin käyttöliittymiin, ennakoivaan kunnossapitoon sekä tarvittaessa simulointiin tai erilaiseen vikadiagnostiikkaan ja optimointiin. Muutoin kehitys suuntautui usein itenäisten tai modulaaristen ja komponenttipohjaisten ohjausjärjestelmien, älykkäiden anturien sekä kompleksisten symboliseen tietojenkäsittelyyn perustuvien tekoälypohjaisten sovellusten kehitykseen laajalla rintamalla. Tämä kehitystrendi on ollut pitkään nähtävissä ja jatkuu yhä myös uusien *AI-, AR- ja Big Data* -sovellusten tapauksessa. (BCG 2018, ETLA 2015)

Osin vastakkaisen trendin hajautukseen tuo *pilviteknologia (cloud computing)*, jonka tarkoituksena teollisuusautomaatioissa on siirtää mahdollisimman suuri osa mittaustiedonkeruusta ja tietokannoista, datankäsittelystä sekä sovellusohjelmista pilvipalvelujen *datajärviin*. Kauniina ajatuksena siinä on tiedonhallinnan ja ylläpidon nopeuttaminen ja datansaannin helpottaminen, mutta ikävänä ”sivuoireena” uhkaa tällöin kyberturvan heikentyminen. Samalla datan omistajuus voi kyseenalaistua ja asiaan liittyvät oikeudelliset, teknistaloudelliset tai hallinnolliset rajat saattavat hämärtyä lisäten yritysten tai asiakkaiden huolia. (Engdahl 2018)

Suurimmat uhat liittynevät silti yhä organisaatioiden sisäisiin inhimillisiin riskeihin, eikä niinkään käyttöjärjestelmien, verkkojen, palvelimien ja työasemien tai sovellusohjelmistojen tietoturva-aukkoihin. Eräs osoitus tästä on se, että yritykset tyypillisesti karttavat kaikkea tietoturvoihin ja järjestelmä-, laitteisto- tai ohjelmistovikoihin liittyvää kielteistä julkisuutta, koska sen vaikutus yrityksen maineeseen ja menestykseen voi olla paljon suurempi kuin yksittäisen kyberriskin seurannaisvaikutus.

IIOT -JÄRJESTELMÄT

Teollisella Internetillä tarkoitetaan yleensä automaatiojärjestelmän, mittaus- ja tiedonkeruujärjestelmän, tuotannonohjauksen, laadun- ja toiminnanohjauksen tai kunnossapidon reaaliaikaista kytkemistä verkkoon joko perinteisen kaapelipohjaisen tai langattoman verkko-yhteyden avulla. Lisäksi IIOT:n (*Industrial Internet of Things*) tulisi parantaa tuotannon tai prosessin toimintaa esimerkiksi mahdollistamalla tuotannon optimoinnin, adaptiivisen säädön tai koneoppimisen ja/tai edistämällä data-analytiikkaa, ennakoivaa huoltoa, etähallintaa, kunnossapitoa ja vikadiagnostiikkaa sekä tuoda näin säästöjä energian- tai materiaalienkulutuksessa, ts. parantaa laatua ja tuottavuutta. (Almqvist 2018, Collin & Saarelainen 2016, Martinsuo & Kärri 2017, Solita 2016)

IIOT:n peruserona esineiden Internetiin eli IOT:hen (*Internet of Things*) on siten sen kyky toimia joko reaaliaikaisesti tai online-yhteydessä mittausjärjestelmään kytkettynä osaksi laajempaa kokonaisuutta, kuten automaatiojärjestelmää. Esineiden Internetissä periaatteessa millä tahansa myös yksityisen käyttäjän esineellä, kuten autolla, jääkaapilla, murtohälyttimellä, saunakiukaalla, verensokerinmittarilla, älyrannekkeella tms., on IP-pohjainen verkkoyhteys, joka ei edellytä välttämättä mittauskohteen hallintaa, mutta ei poissuljakaan tuota mahdollisuutta. (Collin & Saarelainen 2016)

Teollisuuden Internetistä käytetään saksankielisellä alueella usein nimitystä Teollisuus IV, jolla viitataan 4. teolliseen vallankumoukseen. Sillä viitataan myös vähintään epäsuorasti robotisaatioon, tekoälyyn ja joskus – ehkä harvemmin – yleiseen digitalisaatioon, virtuaalitodellisuuteen tms. uusiin teknologioihin. (Almqvist 2018, Ghobakhloo 2018, Santos ym. 2017) BCG:n tekemän kattavan tutkimuksen mukaan 87 % teollisuusyrityksistä aikoo hyödyntää tekoälyä seuraavan kolmen vuoden aikana, kun tällä hetkellä keskimäärin noin 16 % soveltaa tekoälyä ainakin yhdessä sovelluksessaan (Küpper ym. 2018).

GE (*General Electric*) puhuu vasta kolmannesta aallosta ensimmäisen kattaessa kone-, kemian ja sähkötekniikan eri kehitysvaiheet toisen teollisen vallankumouksen alettua vasta *internet-protokollan* keksimisestä 70-luvulla. Juuri TCP/IP-pohjaiset verkot uudistivat kokonaan innovaatioketjujen syntyminen, ja nykyinen ”kolmas aalto” (IGE) tuo erityisesti data-analytiikan, älyn, big datan ja AR:n mukaan päätöksentekoon ja automaatiojärjestelmiin. Venäläisen *Nikolai Kondratjeffin* aaltoteoria taasen tulkitsee seuraavan aallon olevan itse asiassa jo kuudes aalto teollisen teknologian kehityksen historiassa 1700-luvun jälkeen alkaen höyrykoneista. (Collin & Saarelainen 2016)

Teollisen Internetin perustarkoitus ja päätavoitteet ovat älykkäämpi mittaus, automaatio ja tuottavuuden kasvu, joihin järjestelmien integraation uskotaan johtavan. Joskus päämotiivina voi olla kilpailuedun saaminen erottumalla muista toimittajista jossakin sinänsä pienehkössä mutta asiakkaisiin vetoavassa seikassa. Seikka voi olla vaikkapa ympäristön-

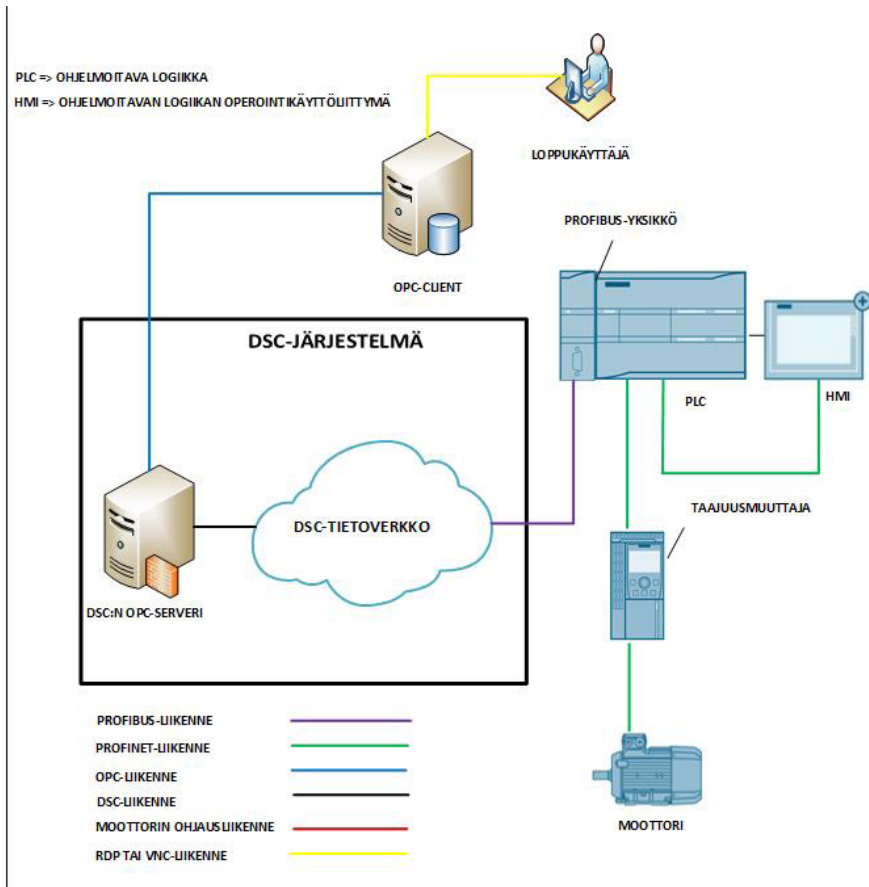
suojelu tai turvallisuus ja luotettavuus, mutta myös uusi informaatioteknologia sinänsä, kuten *AI, AR, Big Data tms.* Teollinen Internet tukee hyvin mobiiliverkkoja, uusia älykkäitä käyttöliittymiä sekä edistää datan saavutettavuutta tehden automaatioalustat joustavamiksi ja monikäyttöisemmiksi. Vuorovaikutus asiakkaisiin, järjestelmä- ja laiteomittajiin, alihankkijoihin ym. yhteistyökumppaneihin ja viranomaisiin helpottuu ja tehostuu, kun haitalliset viiveet parhaimmillaan katoavat ja ongelmanratkaisu nopeutuu. (ETLA 2015)

IIOT-JÄRJESTELMÄN KEHITYS KUITULABORATORIOSSA

BIOKASVU-projektissa suunnitellaan ja otetaan käyttöön *DigiFiber*-kokeilu- ja liiketoiminta-alusta uuden teknologian tarpeista sekä mahdollisuuksista (*KET – Key Enabling Technologies*). Biotuotetekniikan koe- ja kokeiluympäristö digitalisoidaan ja kehitysympäristössä toteutetaan yhteistyössä yritysten kanssa uuden teknologian kokeiluja, jotka liittyvät mm. prosessien tehokkuuden parantamiseen, on-line-huoltotoimintaan sekä kuituliiketoimintojen digitalisointiin.

Bioekosysteemin DigiFiber-kokeilu- ja liiketoiminta-alustana toimii tehokas serverikone, jossa käytetään Metris™ IOT -alustaa yhteistyössä ANDRITZ Oy:n kanssa. Järjestelmää käytetään kasvuekosysteemin mittaussovellusten keskitetyssä valvonnassa. Siihen voidaan liittää projektissa ja ekosysteemissä mahdollisesti kehitettäviä uusia sovelluksia (APP's). Tuloksena saadaan kehitysalustassa luotuja liiketoimintalähtöisiä analysointi- ja mallinust työkaluja. Samalla mahdollistetaan alan kompetenssin kasvattaminen ja uusien IoT- ja palveluliiketoimintojen kehittyminen, jotka tukevat uusien liiketoimintojen kehittymistä ja kasvua Savonlinnassa (AM, BigData, AR). Digitalisoinnin kokeilut ja mm. Metris IOT -alusta yhdistetään myös osaksi biotuotetekniikan insinööriopetusta.

Kuitulaboratorion pääautomaatiojärjestelmänä käytetään *Honeywell Experion PKS -järjestelmää*. Meneillään olevassa BIOKASVU-projektissa kuitulaboratorion automaatio on tarkoitus liittää edelleen *ANDRITZ Metris™* järjestelmään. Kuva 1 esittää kuitulaboratorion sekä Kuitu3:n nykyisen/tulevan järjestelmäarkkitehtuurin ja liitännät kaaviokuvana.



KUVA 1. Kuitulaboratorion nykyinen/tuleva järjestelmäarkkitehtuuri ja liitännät kaaviokuvana (kuva Xamk).

LISÄTTY TODELLISUUS - AR (AUGMENTED REALITY)

Lisätty todellisuus vahvistaa kuvaa realimaailmasta lisätyn virtuaalisen informaation avulla. Tämä idea toimii monissa teollisuussovelluksissa niin, että todellisuudesta joko kuvaamalla, mittaamalla tai laskemalla tuotettuun kuvaan lisätään virtuaalista informaatiota, joka tuotetaan esimerkiksi data-analytiikan, big data -mittaushistorian, matemaattisten mallien, simuloinnin, ennakkoinnin, animaatioiden ja jopa peliteknologisen visualisoinnin kautta.

AR:ää voidaan käyttää paikallistamaan laite tai prosessi teollisuuslaitoksessa, identifioimaan sieltä tietty yksittäinen reaalinen kohde (kuten mittalaite tai osaprosessi) tai kuvaamaan sen konfiguraatio ja rakenne. Kuten edellä viitattiin, AR:ää voidaan käyttää etähuoltotilanteissa niin, että etäasiantuntijat ohjaavat kenttäasiantuntijoita kunnossapidossa tai laitehuollossa, kuten kuvassa 2 on skemaattisesti esitetty. (Aleksy ym. 2014, Almqvist 2018)



KUVA 2. Digital Twins- jaltai 3D/AR+VR-teknologioiden hyödyntäminen seurannassa, laitehuollossa sekä esimerkiksi laitteistojen esittelyssä (kuva Xamk).

AR-pohjaisia käyttöliittymiä voidaan hyödyntää prosessinohjauksessa valvomoissa ja prosessi- tai tuotantolinjoilla, logistiikassa, koulutuksessa sekä erityyppisen käytännöllisen ja operatiivisen osaamisen kehittämisessä. Kuitulaboratorion kannalta AR:n kiinnostavimpia käyttötapauksia voisivat olla prosessikokeiden on-line- tai ns. live-seuranta. Tarvittaessa sen voisi tehdä myös verkon läpi etävalvontana.

Koe- tai testiajajojen visualisointi asiakkaille tai omalle henkilöstölle olisi toinen lupaava käyttötapaus, ja yksittäisten eri prosessilaitteiden ja mittausjärjestelmien tilan tai valmistetun tuotteen, kuten kuitumassan tai paperin, analysointi ja visualisointi muita mahdollisia käyttötapauksia. AR-teknologiaa voi soveltaa hyvin myös ns. digitaalisissa kaksosissa (*digital twins*), laboratorioprosessin virtuaalimallinnuksessa (*3D/AR+VR*), simuloinnissa ja koesuunnittelussa sekä prosessidiagnostiikassa. (Aleksy ym. 2014, Almqvist 2018, Ukkonen 2017)

DIGITALISAATION HYÖDYNTÄMINEN KASVUEKOSYSTEEMIN KEHITTÄMISESSÄ

Uusi teknologia tarvitsee paljon testausta ja onnistuneita demonstraatioita, ennen kuin se muuttuu osaksi laboratorion arkipäivää. Teknologisten ja taloudellisten haasteiden ohella verkotettuihin IIOT-sovelluksiin liittyy helposti todellisia uusia kyberuhkia tai käytännön vaatimuksia ja reunaehtoja, jotka vaikeuttavat applikaatioiden nopeaa kehittämistä. Teollisuudessa on havaittu kompleksisen ja häiriöille alttiin uuden teknologian aiheuttavan helposti muutosvastarintaa, ja joskus lukkiutuneet ennakkoasenteet voivat olla suunnittelijoille ja projektijohdolle suurempi haaste kuin IIOT:n tekninen toteutus sinänsä.

Kuitulaboratorion koehallissa lisättyä todellisuutta olisi mahdollista hyödyntää esimerkiksi vaativissa **NMR-** ja **tomografia**-on-line-analyysimittauksissa. NMR-mittauksen ja kuidun

jauhautumisasteen tai saadun massan SR-luvun ja WRV-arvon (*water retention value*) korrelaatio ja hetkellinen (on-line) arvo voitaisiin esittää havainnollisesti mittausten historiatdatasta koostetun pistediagrammin ja kuvapankin avulla. Samalla voitaisiin hyödyntää AR-teknologiaa, mikäli sen tuoma reaaliaikainen lisäinformaation visualisointi helpottaisi laboratorion operaattoreiden työtä.

Kuitumassan on-line-kvantamista uusilla *fotometrisillä* sensoreilla ja menetelmillä on tutkimushankkeissa jo kehitteillä, ja ne on osoitettu teoriassa toimiviksi, mutta ko. teknologia on vielä kallista ja vaatisi prosessilaitteistoihin niin merkittäviä muutoksia, ettei se liene realistista vielä Biokasvu-hankkeen puitteissa. Kochallin anturointia kehittämällä sekä investoimalla uuden sukupolven kameratekniikkaan ja kuva-analyysiin uusien sovellusten kehittäminen voisi kuitenkin edetä ripeästi ja parhaimmillaan johtaa jatkossa uusiin prosessi- tai säätötekniisiin innovaatioihin ja kaupallistettaviin keksintöihin.

Samoin tomografiatmittausten yhdistäminen muihin sekoitusprosessin on-line-mittauksiin ja keskeisiin erilaisiin laskennallisiin tai mallinnuksen kautta estimoituihin prosessiparametreihin saattaisi tarjota jatkossa valvosovellusten käyttöliittymiin oleellisia kilpailuetuja verrattuna perinteisempiin sellutehtaiden mittaustiedonkeruujärjestelmiin. Uusien teknologioiden tänä päivänä antamat mahdollisuudet kannattaa ainakin selvittää ja pilotoida, jotta ne voidaan integroida joskus myös tuleviin kaupallisiin IOT-pohjaisiin automaatio- ja tiedonkeruujärjestelmiin lisäarvon realisoimiseksi. Tekoälyn, AR-sovellusten ja visualisoinnin kasvava tarve metsäteollisuudessa on ilmeinen, ja ne saattavat olla ratkaiseva valintakriteeri monissa tulevilla järjestelmäinvestoinneissa.

Uusi vielä kypsymässä oleva huipputeknologia synnyttää lähes poikkeuksetta myös tarpeetonta ”hypeä”, mikä ei kuitenkaan merkitse, että teknologia itsessään olisi kelvotonta ja tuhoon tuomittua. Biokasvu-hankkeen IIOT-osion yksi tarkoitus onkin pilotoida ja testata erilaisia lupaavia vaihtoehtoja sekä integroida jo olemassa olevaa sensoriteknologiaa ja moderneja teollisia väylästandardeja (*OPC*) IOT-liitäntöjen toteuttamiseen eri prosessimittauksissa.

Biokasvu-hankkeen IIOT-osaprojektissa Kuitulaboratoriossa kehitetään aluksi kolme PoC (*Proof of Concept*)-tyyppistä demonstraatiota laboratorioon hankittujen kaupallisten **DCS-** (*Experion*), mittaustiedonkeruu- (*Metris*) ja/tai teollisuusväyläjärjestelmien päälle. Rakennettuihin sovelluksiin pyritään liittämään prosessien perusmittauksia, kuten kierrosnopeus, paine, virtaus ja lämpötila sekä esimerkiksi laboratorion NMR-laitteisto. (Raunio & Nikolskaya & Hiltunen 2018)

Jatkossa on harkittavissa myös joidenkin mahdollisesti langattomalla 4G/5G-datansiirtohyteydellä varustettujen kuvaussovellusten yhdistäminen IIOT-tiedonkeruujärjestelmään, jotta analysoitavaa kuva-aineistoa voitaisiin helpommin siirtää myös laboratorion ulkopuolisista yhteistyökumppaneiden teollisuuskohteista. Hankkeessa selvitetään myös edellytyksiä kytkeä tarvittaessa laboratorioon tulevien uusien mittausjärjestelmien, kuten neste- tai ionikromatografian, sekä massaspektrometrin tuottama mittausdata IIOT-järjestelmään tai AR-välineisiin.

LÄHTEET

Aleksy M., Vartiainen, E., Domova, V., Naedele M.. 2014. Augmented Reality for Improved Service Delivery. IEEE Explore Digital Library. WWW-dokumentti. Saatavissa: https://www.researchgate.net/publication/269301778_Augmented_Reality_for_Improved_Service_Delivery. [viitattu 24.10.2018]

Almqvist, L., 2018. IoT för massafabriken. Process IT pdf 2018-03-14, 31. Valmet. WWW-dokumentti. Saatavissa: http://www.processitinnovations.se/Sve/Nyheter/Filer/ProcessITdagen2018_IoTforMassafabriken.pdf [viitattu 25.10.2018]

BCG 2018. Embracing Industry 4.0 and Rediscovering Growth. © 2018 The Boston Consulting Group. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.bcg.com/en-nor/capabilities/operations/embracing-industry-4.0-rediscovering-growth.aspx>. [Viitattu 24.10.2018].

Collin J., Saarelainen A. 2016. Teollinen internet, Talentum pro.

Engdahl, T. 2018. Näin IoT –järjestelmät menevät pilveen. Uusi Teknologia, Lokakuu 2/2018. WWW-dokumentti. Saatavissa: https://issuu.com/uusiteknologia.fi/docs/2_2018. [viitattu 26.10.2018]

ETLA 2015. Juhanko, J., Jurvansuu, M., Ahlqvist, T., Ailisto, H., Alahuhta, P., Collin, J., Halen, M., Heikkilä, T., Kortelainen, H., Mäntylä, M., Seppälä, T., Sallinen, M., Simons, M., Tuominen, A.. Suomalainen teollinen internet haasteesta mahdollisuudeksi: Taustoittava kooste. ETLA Raportit - Reports 42.

Ghobakhloo, M. 2018. The future of manufacturing industry: a strategic roadmap toward Industry 4.0. Journal of Manufacturing Technology Management, 15 October 2018, Vol.29(6),910-936.

Küpper, D., Lorenz, M., Kuhlmann, K., Bouffault, O., Yew Heng Lim, Van Wyck, J., Köcher, S., and Schlageter, J. 2018. AI in the Factory of the Future - The Ghost in the Machine. April 18, 2018 © The Boston Consulting Group. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.bcg.com/en-nor/publications/2018/artificial-intelligence-factory-future.aspx>. [viitattu 24.10.2018]

Martinsuo, M., Kärri, T. 2017. Teollinen internet uudistaa palveluliike-toimintaa ja kunnossapitoa, Kunnossapitoyhdistys ProMaint. WWW-dokumentti. Saatavissa: https://tutcris.tut.fi/portal/files/10991976/teollinen_internet_kirja_digi.pdf. [viitattu 24.10.2018]

Muhonen, T. 2017. Digitalisaatio suomalaisessa metsäteollisuudessa, lopputyö: Kauppatieteiden maisterin tutkinto, Teknisen viestinnän maisteriohjelma, Tietotekniikka, Vaasan yliopisto, Teknillinen tiedekunta.

Raunio, J., Nikolskaya, E. & Hiltunen, Y. 2018. On-line monitoring of cationic starch gelatinization and retrogradation by ¹H NMR-relaxometry. *Nordic Pulp & Paper Research Journal*. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.degruyter.com/view/j/npprj.ahead-of-print/npprj-2018-0010/npprj-2018-0010.xml>. [viitattu 25.10.2018]

Santos, C., Mehra, A., Barros, A.C., Araújo, M., Ares, E. 2017. Towards Industry 4.0: an overview of European strategic roadmaps. *Manufacturing Engineering Society International Conference 2017, MESIC 2017, 28-30 June 2017, Vigo (Pontevedra), Spain. Procedia Manufacturing* 13 (2017) 972–979.

Solita Oy 2016. Think Tank - Industrial Internet and IoT.

Ukkonen, P. 2017. Teollinen internet ja lisätty todellisuus: mahdollisuudet ja näkymät laivateknikassa. Lopputyö: Merenkulkualan insinööri, Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu.

3D-TULOSTUSTEKNOLOGIAN MAHDOLLISUUDET JA BIO- MATERIAALIT

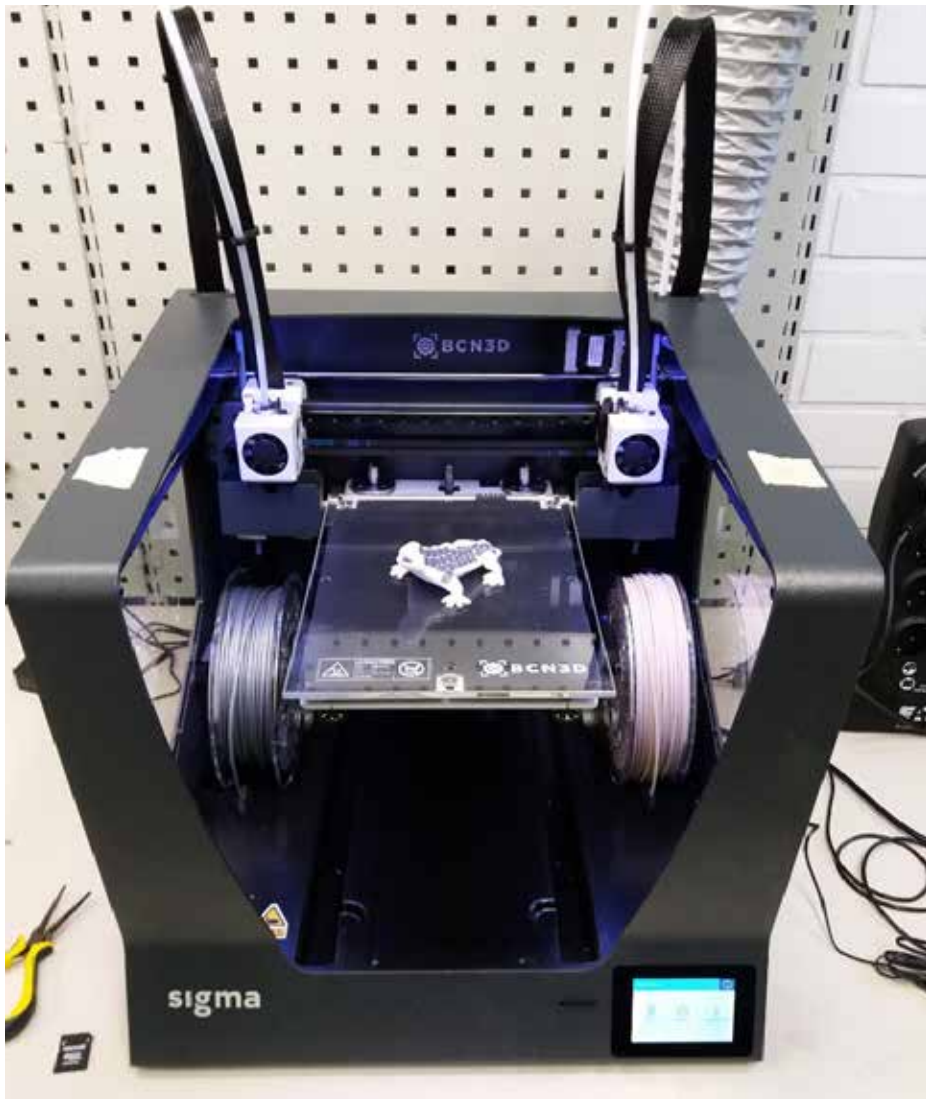
Ilkka Vanttaja & Tatu Kauppi & Kari Kärkkäinen

Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu (Xamk) on kehittänyt Savonlinnassa pitkäjänteisesti osaamis- ja yrityslähtöistä biotalouden pilotointi- ja kehitysympäristöä. BIOKASVU – Biotuotetekniikan kasvukosysteemin kehittäminen Savonlinnassa -projektissa toteutetaan uusien korkean teknologian kuitujalosteiden kehittämisen ja biokiertoalouden synergian vahvistamisen rinnalla useita uuden teknologian ("Digifiber") kokeilu- ja demonstrointihankkeita, jotka ovat yrityslähtöisiä ja joiden avulla etsitään alueelle uutta kasvuliiketoimintaa.

Korkean teknologian kuitumateriaalituotteiden ja valmistusprosessien kehittäminen ja asiantuntijuuden lisääminen Xamk Kuitulaboratoriossa 3D-tulostustekniikkaa hyödyntämällä on yksi toimenpide projektissa. Bio- ja kuitukomposiittien käytön lisääminen ja öljypohjaisten muovien korvaaminen kasvipohjaisilla materiaaleilla ovat tärkeitä tavoitteita. Mikäli 3D-tulostuksen teknologinen kehitys etenee nykyisellä kasvuvauhdilla, voidaan merkittävä osa tuotteista ja varaosista tulevaisuudessa valmistaa hyödyntäen paikallisia raaka-aineita ja prosesseissa muodostuvia sivuvirtoja.

JOHDANTO

Biokasvu-projektin 3D-tulostuksen demonstraatiohankkeessa keskitytään tutkimaan bio- ja kuitukomposiittien mahdollista käyttöpotentiaalia. 3D-tulostus tai AM-teknologia, jossa kappale valmistetaan tietokoneohjatusti lisäämällä materiaalia kerros kerrokselta, tarjoaa suunnittelijalle paljon vapauksia ja mahdollistaa yksilöllisen räätälöidyn tuotannon, joka voidaan toteuttaa pienillä alkuinvestoinneilla myös hajautetusti (Siipola 2016). Tavoitteena on ottaa teknologiaa haltuun, edistää puun käytön lisäämistä öljypohjaisten muovien korvaajana ja etsiä tulevaisuuden liiketoimintamahdollisuuksia sekä paikallisesti että kansallisesti.



KUVA 1. 3D-tulostin BCN3D Sigma R19 kuvattuna Xamkin tiloissa Elektroniikan 3K-työkaluilla (kuva Ilkka Vanttaja).

Selvitystyö aloitetaan kaupallisesti jo saatavilla olevista bio- ja kuitukomposiiteista. Oma materiaalikehitys ja/tai paikallisten yritysten tuotannon sivuvirrat pidetään mahdollisuutena mielessä omien paikallisten materiaalivaihtoehtojen kehittämistä ajatellen. Kaupallisten tulostusmateriaalien hyvä saatavuus on ohjannut projektin teknologiavalintoja ensivaiheessa puresotusmenetelmään ja kehittyneisiin desktop-tulostimiin, joissa saa käyttää myös kolmansien osapuolten materiaaleja. Suomen 3D-ratkaisut Oy:ltä on kilpailutuksen perusteella vuokrattu marraskuun 2018 alusta lukien pöytämallinen BCN3D Sigma R19 3D-tulostin bio- ja kuitukomposiittien testaukseen.



KUVA 2. Puufilamentti UPM Formi 3D -tulostuskäytössä: vasemmalla japanilainen puulii-tos ja oikealla ”komposiittikanto” (kuva Ilkka Vanttaja).

3D-TULOSTUKSEN MENETELMÄT

Bio- ja kuitukomposiiteille soveltuvia 3D-tulostusmenetelmiä ovat pursotus (Material Extrusion), jauhepetuslatus (Powder Bed Fusion) ja valokovetus altaassa (Vat Photopolymerization).

PURSOTUS

Materiaalin pursotuksessa tulostusmateriaali (yleensä lanka) syötetään suuttimeen, jossa se muuttuu nestemäiseksi. Nestemäinen tulostusmateriaali sitoutuu edelliseen kerrokseen. Kappale tai suutin liikkuu x-, y- ja z-suunnassa rakentaen kappaletta kerros kerrokselta. Tulostuksessa voidaan käyttää erillistä tukiainetta tai tukirakennetta, joka koostuu tulostusmateriaalista (Bruun & Hokkanen 2016).

Pursotusmenetelmän etuja (Tikomati 2018):

- On mahdollista käyttää useampia suuttimia, jolloin tukirakenteet voidaan rakentaa eri materiaalista ja poistaa jälkikäteen liottamalla.
- Yksinkertainen tekniikka: lähes kaikki kaupalliset kuluttajille kohdenneet 3D-tulostimet perustuvat materiaalin pursottamiseen.
- Skaalautuvuus: halvat kuluttajalaitteet perusominaisuuksilla – kalliimmat teollisuuslaitteet (suurempi tuottavuus ja parempi mittatarkkuus).

- Laaja materiaalivalikoima ja pienemmät materiaalikustannukset verrattuna muihin muoveille soveltuviin AM-prosesseihin.
- Soveltuu melko hyvin myös kestopuovikomposiittien valmistamiseen. Komposiitin vahvikeaine (pilkottu kuitu tai pienet partikkelit) voidaan sisällyttää raaka-ainelankaan, tai prosessissa voidaan käyttää erillistä suutinta jatkuvan kuidun (esimerkiksi hiilikuitu tai lasikuitu) lisäämiseksi.

BIOPRINTTAUS

Bioprinttaus on pursotuksen erikoistapaus. Menetelmä on muutoin samankaltainen kuin muovimateriaalien tulostuksessa, mutta tulostuspäässä kuumennettava suutin on korvattu nestemäisiä pienen viskositeetin omaavia materiaaleja tulostavalla ruiskulla (Li ym. 2015).

SUURTEN KAPPALEIDEN TULOSTUS

Toinen erikoistapaus on suurten kappaleiden, kuten huonekalujen, rakennusosien ja jopa kokonaisten rakennusten, tulostus. Rakentamisen puolella betonin tulostaminen on ollut päähuomion kohteena, mutta myös puupohjaisten materiaalien käytön lisääminen kiinnostaa (Li ym. 2015). Tarvittava laitteisto voi muodostua hitsausrobotityöaseman kaltaisesta set-upista, jossa hitsauspää on korvattu tulostusmateriaalin vaatimalla suuttimella.

JAUHEPETISULATUS

Jauhepetitekniikassa materiaali on jauhemaisessa muodossa, ja se muutetaan kiinteäksi joko sintraamalla tai sulattamalla materiaali kerros kerrokselta. Yhden kerroksen valmistuttua jauhepeti siirtyy kerrospaksuuden verran alaspäin, ja sen päälle levitetään uusi kerros jauhetta. Uusi kerros kiinnittyy edelliseen. Lämmönlähteenä käytetään yleensä laseria. Muovimateriaalit eivät tarvitse tukiaineita, vaan sulamaton jauhe tukee valmistettavaa kappaletta prosessin ajan (Bruun & Hokkanen 2016).

Muovimateriaalien jauhepetisulatuksen etuja (Tikommat 2018):

- Muovien jauhepetimenetelmä mahdollistaa käytännössä minkä tahansa geometrian tai muodon valmistamisen, koska prosessissa käytettävä jauhe tukee valmistettuja kerroksia, eikä erillisiä tukirakenteita siten tarvita.
- Kappaleilla paremmat mekaaniset ominaisuudet verrattuna muihin prosesseihin.
- Prosessin periaate mahdollistaa myös komposiittimateriaalien valmistamisen. Muovien jauhepetisulatusta varten on tarjolla esimerkiksi pilkotulla hiilikuidulla, lasihelmillä, alumiinilla ja mineraalitärteillä seostettuja materiaaleja.

VALOKOVETUS ALTAASSA

Valokovetus altaassa on materiaalia lisäävä valmistusmenetelmä, jossa nestemäinen polymeeri kovetetaan valon avulla. Useimmat käytössä olevat muovit kovettuvat UV-valon vaikutuksesta, mutta myös näkyvään valoon perustuvia menetelmiä on olemassa. Menetelmässä tulostusaltaaseen laitetaan halutun kerrospaksuuden verran valoherkkää hartsia, joka kovetetaan UV- tai näkyvällä valolla. Kovetuksen jälkeen tulostusalue siirtyy kerrospaksuuden verran alaspäin ja altaaseen lasketaan lisää hartsia, joka kovetetaan (Bruun & Hokkanen 2016).

Valokovetus altaassa tarjoaa seuraavat edut (Tikomat 2018):

- Mittatarkkuus (yleensä 25–100 µm) ja pinnanlaatu parempi verrattuna muihin AM-prosesseihin.
- Soveltuu mitoiltaan pienille ja geometrialtaan monimutkaisille kappaleille.
- Nestemäiseen kertamuoviin voi lisätä pilkottuja kuituja tai partikkeleita, mikä mahdollistaa myös komposiittimateriaalien valmistuksen.

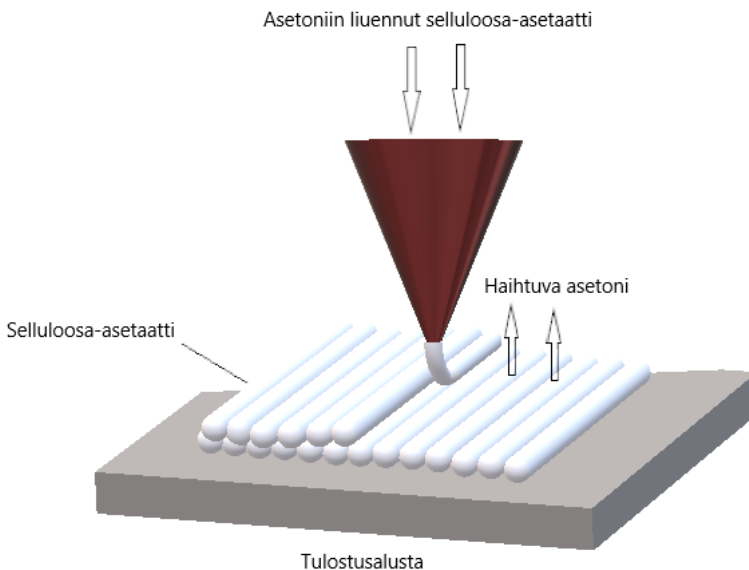
3D-TULOSTUKSEN BIOMATERIAALIT

Biomateriaalit voidaan jakaa kolmeen ryhmään. Ensimmäiseen ryhmään kuuluvat biohajoavat materiaalit, toiseen biopohjaiset ja kolmanteen molemmat edelliset ominaisuudet omaavat materiaalit. 3D-tulostuksen kannalta kiintoisampia ovat termoplastiset biomateriaalit. Tällaisia ovat esimerkiksi polylaktidi (PLA), polyhydroksialkaonaatti (PHA), biopolyeteeni (PE), biopolybuteenisukkiini (PBS) ja selluloosa-asettaatti. PLA, PHA ja bio-PBS ovat biopohjaisia sekä biohajoavia bio-PE:n ja selluloosa-asettaatin ollessa ainoastaan biopohjaisia. Biohajoavuudella tarkoitetaan tässä tapauksessa kuitenkin teollista kompostoitumista. PE ja PBS valmistetaan yleensä fossiilisista lähtöaineista, mutta nykyään niitä valmistetaan enenevässä määrin myös biopohjaisista raaka-aineista, kuten sokerijuurikkaasta ja tarkkelyspitoisista materiaaleista. Kuitulaboratorion näkökulmasta kaikkein kiinnostavimpia materiaaleja ovat puupohjaiset biohajoavat materiaalit, joita tällä hetkellä löytyy kaupallisena pääasiassa ainoastaan PLA-pohjaisina komposiitteina. Tutkimuspuolella biopohjaisten ja -hajoavien materiaalien koostumuksissa on paljon suurempaa vaihtelua, joskin pääasiassa materiaalit ovat puupohjaisia, kuten selluloosaa ja ligniiniä.

Puupohjaiset materiaalit voidaan 3D-tulostuksen yhteydessä jakaa kahteen pääraaka-aineseen, ligniiniin ja selluloosaan. Kumpikaan näistä yhdisteistä ei ole luonnostaan termoplastista, mutta ne voidaan muokata tulostettavaan muotoon. Termoplastiset materiaalit tulostetaan yleensä sulatus–palautus-menetelmällä, jossa materiaali kuumennetaan nestemäiseksi ja jäähtyessään se palautuu kiinteäksi. Ei-termoplastisiin materiaaleihin tarvitaan erilainen injektointitapa. Ei-termoplastiset materiaalit on mahdollista liuottaa veteen tai muuhun

liuottimeen, jolloin tulostettava materiaali muodostaa liuottimen tai veden kanssa geelin tai korkean viskositeetin omaavan liuoksen. Materiaalin syöttö tapahtuu männän avulla suuttimelle, joka rakentaa halutun esineen normaalin 3D-tulostimen tapaan. Geelinä tai korkean viskositeetin omaavana liuksena oleva materiaali jähmettyy aloilleen liuottimen haihduttua tulostusalustalla. Tällaisissa tapauksissa liuottimena kannattaa mahdollisuuksien mukaan käyttää helposti haihtuvaa ainetta, kuten asetonia.

Selluloosa on maailman yleisin luonnonpolymeeri, ja sitä on saatavilla monista eri lähteistä. Selluloosan ominaisuuksiin kuuluvat kuitumainen rakenne, lujuus ja hydrofiilisyyys. Hydrofiilisyydestä huolimatta selluloosa ei liukene veteen, vaan veden vaikutuksesta selluloosakuidut erottuvat toisistaan vetysidoksien katkettua. 3D-tulostettavaksi materiaaliksi selluloosa sopii sellaisenaan vain komposiittina, jossa sidosmatriisina toimii jokin termoplastinen materiaali, kuten PLA. Selluloosaa voidaan kuitenkin muokata tulostettavaan muotoon. Tällaisia muotoja ovat esimerkiksi nanoselluloosahydrogeeli ja erilaiset johdannaiset, kuten selluloosa-asetaatti. Erilaiset tulostettavat hydrogeelit ovat etenkin lääketieteessä mielenkiinnon kohteina, sillä hydrogeelien avulla voidaan mahdollisesti tulostaa eläviä soluja (Kakko & Mäkinen 2016). Selluloosa-asetaatilla on tehty tulostuskokeiluja siten, että selluloosa-asetaatti on liuotettu asetoniin ja tulostettu jähmeänä liuksena hydrogeelien tapaan ruiskun avulla. Tulostettu materiaali jähmettyy asetonin haihduttua päästyään ilman kanssa kosketuksiin.



KUVA 3. Esimerkki jähmeän liuoksen 3D-tulostamisesta (kuva Tatu Kauppi).

Ligniini on selluloosan jälkeen maailman toiseksi yleisin biopolymeeri ja yksi puun pääkomponenteista selluloosan ja hemiselluloosien ohella. Vielä nykyään pääosa metsäteollisuuden ligniinisivuvirroista käytetään energiantuotantoon, vaikkakin sillä on myös muita käyttökohteita, jotka ovat kuitenkin marginaalisia. Ligniinin jalostamista ja käyttämistä muuhun kuin energiantuotantoon rajoittaa sen monimutkainen ja epäsäännöllinen rakenne. 3D-tulostettavaa ligniinipitoista materiaalia on kehitetty jonkin verran, ja ainakin yksi ligniinipitoinen tulostusmateriaali on kaupallisena. Yleensä 3D-tulostettava ligniinipitoinen materiaali on komposiittia, jossa on jokin termoplastinen sidosmatriisi. Tällainen on esimerkiksi ABS:n, ligniinin ja nitriilikumin seos, jossa ligniinipitoisuus on voitu nostaa jopa 40 %:iin ilman materiaalin merkittävää heikkenemistä verrattuna puhtaaseen ABS:iin (Nguyen ym. 2018). Tätä materiaalia ei kylläkään voida pitää biomateriaalina korkeasta ligniinipitoisuudesta huolimatta. Toisessa tapauksessa ligniiniä oli sekoitettu PLA:n kanssa, mutta ligniinin ja PLA:n heikon vuorovaikutuksen takia ligniinilisäyksellä oli materiaalia heikentävä vaikutus (Gkartzou ym. 2016). Vuorovaikutusta on kylläkin voitu parantaa ligniinin asetyloinnin avulla, jolloin komposiitin ominaisuudet on saatu pidettyä puhtaan PLA:n tasolla jopa 20 prosentin ligniinipitoisuudella (Gordobil ym. 2014).

YHTEENVETO

Kaikki hypekäyrälle nousseet ideat 3D-tulostukseen liittyen eivät ole siirtyneet arkitodellisuuteen, mutta bio- ja kuitumateriaaleille löytyy jo lupaavia sovelluksia. Lääketiede on pioneerisoveltaja monessa biopohjaisessa ratkaisussa. Lisäksi tarve korvata öljypohjaisia muoveja bioperäisillä ja biohajoavilla materiaaleilla ajaa biokomposiittien kehitystä ja tulostusta eteenpäin. Hyvä esimerkki tästä on UPM:n keväällä 2018 julkaisema biokomposiittimateriaali UPM Formi 3D, jossa yhdistyvät sellukuitu- ja biopolymeeriteknologiat.

Kolmiulotteinen tulostus on ihanteellinen ratkaisu räätälöintiin, mutta ei ole vielä massatuotannossa johtuen nopeuden rajoituksista. Kasvava kiinnostus ”vihreisiin” raaka-aineisiin on luonut mahdollisuuksia puukuiduille, muille selluloosamateriaaleille ja biomateriaaleille. Raaka-aineiden kasvavan kysynnän vuoksi metsätalous voisi myös luoda uusia, korkealaa-tuisia tuotteita 3D-valmistustekniikkaan alkaen uusista biomateriaaleista. Tällaisia voisivat olla esimerkiksi erilaiset ligniini- ja selluloosapohjaiset materiaalit, kuten nanoselluloosa.

LÄHTEET

Bruun, M. & Hokkanen, M., Materiaalia lisäävä valmistus, D: Vapaamuotoisia julkaisuja, Mikkelin ammattikorkeakoulu, 2016

Gkartzou, E. ym. 2016. Production and 3D printing processing of bio-based thermoplastic filament. *Manufacturing Rev.* 4 (1)

Gordobil, O. ym. 2014. Physicochemical properties of PLA lignin blends. *Polymer Degradation and Stability* 108, 330–338

Kakko, E. & Mäkinen, E. 2016. Katsaus lääketieteelliseen 3D-tulostukseen. *Finnish Journal of eHealth and eWelfare* 8 (4), 216–223

Li, T. ym. 2015, 3D printing: a review of technologies, market and opportunities for the forestry industry, *Journal of Science & Technology for Forest Products and Processes* VOL. 5, NO. 2

Nguyen, N.A. ym. 2018. A general method to improve 3D-printability and inter-layer adhesionin lignin-based composites. *Applied Materials Today* 12,138–152

Nguyen, N.A. ym. 2018. Mechanical, thermal, morphological, and rheological characteristics of high performance 3D-printing lignin-based composites for additive manufacturing applications. *Data In Brief* 19, 936–950

Siipola, V. 2016. NoMa-hanke: Luonnonkuitujen 3D-tulostamisen mahdollisuuksia. Opinnäytetyö, Lahden ammattikorkeakoulu 2016

Teknologiaselvitys: Muovi- ja kuitumateriaaleille soveltuvat 3D-tulostimet, Sisäinen raportti, Tikomat Oy, 2018

HITU – HIENONNETUN PARTIKKELIN OMINAISUUKSIA JA MERKITYS ERI SOVELLUKSILLE

Anne Gango & Eveliina Kuokkanen

Materiaalin partikkelikoko on merkittävässä asemassa monessa prosessissa ja käyttösovelluksessa, koska se vaikuttaa sekä tuotteiden laatuun että ominaisuuksiin. Näitä ominaisuuksia ovat esimerkiksi maaliteollisuudessa maalatun pinnan kiilto ja värin voimakkuus sekä sementtiteollisuudessa sementin sitoutumiseen ja kovettumiseen johtava reagointinopeus veden kanssa. Partikkelikokoa pienennettäessä hienonnettavan materiaalin pinta-ala kasvaa lisäksi samalla aineiden liukoisuutta ja kemiallisten reaktioiden nopeutta. Suurentunutta pinta-alaa voidaan hyödyntää esimerkiksi erilaisissa adsorptiosovelluksissa, kuten aktiivihiilisuodattimissa. Suotuisten ominaisuuksien lisäksi hienojakoinen aines kasvattaa pölyräjähdysriskiä etenkin teollisuudessa.

Artikkeli liittyy Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulun Metsä, ympäristö ja energia -painoalan hallinnoimaan Biohiilen ja -lentotuhkan mikronisointi ja materiaalisovellukset Kymenlaaksossa (HITU) -hankkeeseen. Hankkeessa pyritään löytämään ratkaisuja korvaamaan luonnonvarojen käyttöä hyödyntäen Kymenlaaksossa muodostuvia teollisuuden biopohjaisia sivuvirtoja. Biopohjaisten materiaalien käytöllä on luonnonvarojen säästämisen lisäksi mahdollista vähentää hiilidioksidipäästöjen muodostumista. Hanketta rahoittavat Euroopan Aluekehitysrahasto, Rudus Oy ja Kotkan Energia Oy.

JOHDANTO

Jauhemaaisia aineita käytetään laajasti kaikilla prosessiteollisuuden aloilla, esimerkiksi ruoantuotannossa, bioteknologiassa, energiantuotannossa, kaivos, lääke- ja kemianteollisuudessa sekä maalien, muovien ja kosmetiikan valmistuksessa. Tämän vuoksi jauhemaisten aineiden ominaisuuksien sekä niiden varastoinnin ja käsittelyn tietämys on tärkeää. Esimerkiksi kahvin makuun vaikuttaa se, miten hienoksi pavut on jauhettu ennen kahvin uuttamista. Suklaan makuun vaikuttaa siinä käytetyn kaakaojauheen hienous, ja maaleilla optiset, visuaaliset ja levitettävyyteen liittyvät ominaisuudet riippuvat partikkelikoosta. (Hosokawa 2012, 5) Eri sovelluksissa käytettävien materiaalien kokoluokka vaihtelee; esimerkiksi tiivistämiseen käytettävän mikroementin raekoko sementtijauheessa on maksimissaan 16 µm, teollisuuden maaleissa käytettävien pigmenttien kokoluokka on alle 5 nm, ja koriste-maaleissa usein 5–15 nm (Liikennevirasto 2016, 19, BASF 2017).

Yksittäisten jauhepartikkelien ominaisuudet vaikuttavat kyseisestä aineesta valmistetun jauheen käyttäytymiseen. Näitä ominaisuuksia ovat esimerkiksi partikkelin koko, muoto, pinta-ala, tiheys, kovuus, kemiallinen koostumus, varaus ja johtokyky. Jauhemaisen aineen ominaisuudet muodostuvat siinä olevien partikkelien yhteisvaikutuksesta, jolloin muun muassa partikkelien koko- ja muotojakauma, kitka, kokoonpuristuvuus ja tiheys vaikuttavat koko materiaalin käsiteltävyyteen. Tässä artikkelissa tarkastellaan muun muassa hienojen partikkelien homogeenisuutta, virtavuutta ja lisääntyneen pinta-alan merkitystä. Myös partikkelikoon pienentämistä ja luokittelua sivutaan.

PARTIKKELIKOON PIENENTÄMINEN JA LUOKITTELU

Jotta saavutetaan eri käyttökohteisiin sopivan kokoluokan partikkeleita, voidaan joutua joko pienentämään materiaalia tai suurentamaan sitä agglomeroimalla pieniä partikkeleita isommiksi. Partikkeleita pienennettäessä aineen olomuoto ei muutu, ainoastaan sen koko muuttuu. Hienonnus voidaan tehdä eri tekniikkaan perustuvilla menetelmillä. Näissä menetelmissä materiaalin pienentäminen perustuu puristukseen, iskuun, leikkaukseen, hankaukseen tai yhteentörmäykseen. Materiaalin hienonnus voidaan jakaa karkeasti taulukossa 1 esitetyllä tavalla.

TAULUKKO 1. Materiaalin hienonnuksen jaottelu (Pihkala 2011, 17).

Hienonnutapa	Materiaalin kokoluokan muutos
Louhinta räjäyttämällä	äärettömän suuresta alle 1 m:iin
Karkeamurskaus	1 m:n koosta alle 10 mm:iin
Hienomurskaus	100 mm:n koosta alle 10 mm:iin
Karkeajauhatus	10 mm:n koosta alle 1 mm:iin
Hienojauhatus	1 mm:n koosta alle 100 µm:iin
Hyvin hieno jauhatus	100 µm:n koosta alle 10 µm:iin
Erittäin hieno jauhatus	10 µm:n koosta alle 1 µm:iin

Kiintoaineita voidaan luokitella monella eri tavalla, esimerkiksi yksittäisten kiintoainera-keiden eli partikkelien koon, tiheyden ja muodon avulla. Luokittelu tehdään tavallisimmin partikkelien koon perusteella lajittelemalla ne eri kokoluokkiin. Partikkelien kokojakaumaa mitataankin rutiininomaisesti monella eri teollisuudenalalla. Kappalemaiseksi aineeksi kutsutaan ainetta, jonka partikkelikoko on yli 3 mm, ja rakeiseksi aineeksi partikkelikooltaan 0,1 mm – 3 mm olevaa materiaalia. Jauhemaiseksi aineeksi kutsutaan kiintoainetta, jonka partikkelikoko on alle 100 µm. (Ämmälä s.a., 13.) Jauhmainen aine voidaan vielä luokitella rakeiseksi jauheeksi (10–100 µm), superhienoksi (1–10 µm) ja ultrahienoksi jauheeksi (0,1–1 µm) (Brown & Richards 1970, 4).

PARTIKKELIKOON MERKITYS

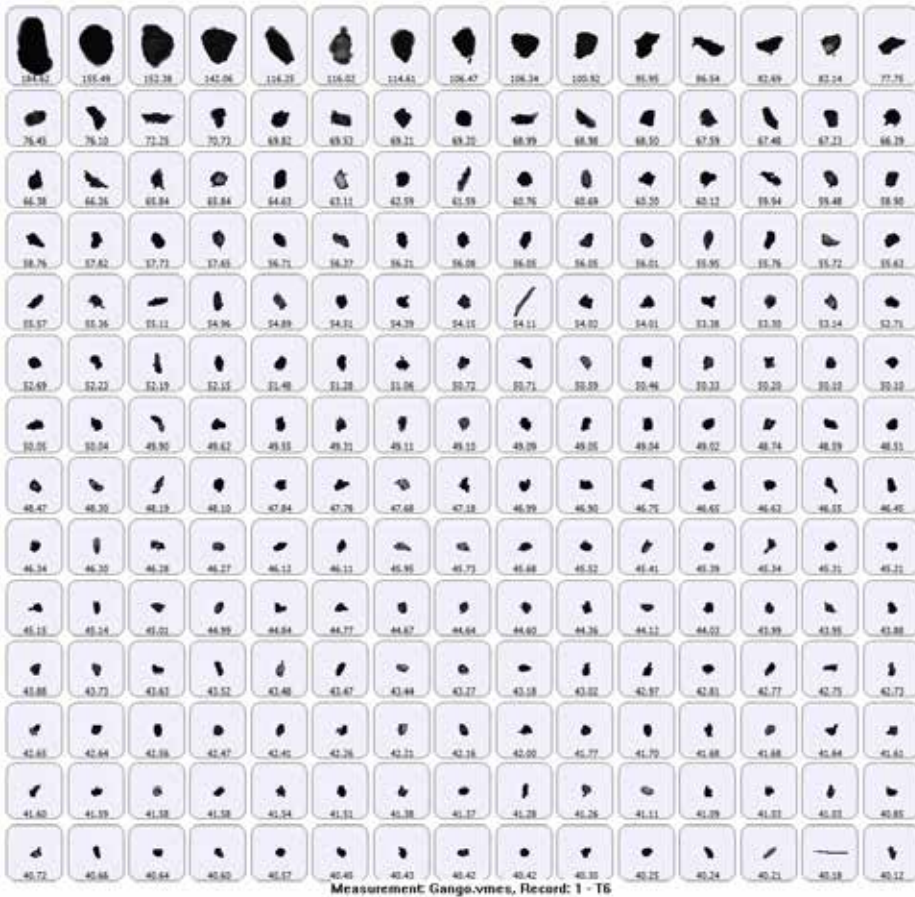
Materiaalin saattaminen oikeaan kokoluokkaan hienontamalla on edellytyksenä monien tuotteiden valmistukselle. Hienontamisen avulla saadaan esimerkiksi tuotettua puusta haketta selluteollisuuden tarpeisiin, mineraalitekniikassa irrotettua halutut kiviainekset erilleen ylijäämäkivestä ja kierrätysteollisuudessa erotettua eri materiaalit toisistaan. Muita esimerkkejä, joissa materiaalin riittävän pieni partikkelikoko on tärkeää, ovat lääkeaineet, joiden annostelu tapahtuu keuhkojen tai ihon kautta, ja maaliteollisuus, jossa partikkelien koko vaikuttaa maalin kiiltoon ja väriin. Oikean partikkelikoon lisäksi hienontamalla tuotetun materiaalin partikkelikokojakaumalla on suuri merkitys aineen käytettävyyteen ja siitä tuotettujen materiaalien ominaisuuksiin.

Alla on esitetty hienojakoisen materiaalin ja niiden partikkelien ominaisuuksia, joita ovat esimerkiksi lisääntynyt pinta-ala ja reaktionopeus, huokoisuus ja toisaalta myös räjähdysherkkyys. Ominaisuudet eivät ole toisistaan erillisiä vaan muodostavat yhdessä kokonaisuuden. Esimerkiksi lisääntynyt pinta-ala lisää reaktionopeutta.

HOMOGEENISUUS, PARTIKKELIKOKOJAKAUMA JA ULKOMUOTO

Aineen hienontaminen ja partikkelikoon pienentäminen edesauttavat tasalaatuisen materiaalin aikaansaamista. Homogeenisen materiaalin etuina ovat esimerkiksi sen ominaisuuksien ja käyttäytymisen ennakoitavuus, joka mahdollistaa laadukkaiden lopputuotteiden valmistamisen. Esimerkiksi maalien valmistuksessa käytettyjen pigmenttien tulee olla ennalta määriteltyä kokoluokkaa, jotta lopputuotteen väri ja kiilto vastaavat tuotteen laatuvaatimuksia. Käytettävän materiaalin partikkelikoko vaikuttaa siinä olevien hiukkasten valonsirontaan, jolloin partikkelikokoa pienennettäessä myös valonsironta kasvaa. Valonsironta vaikuttaa taas maaleissa maalipinnan läpinäkyvyyteen ja värisävyyteen. (Klippax 2006) Käytettävän materiaalin partikkelikoko vaikuttaa myös siihen, onko käsiteltävä pinta esimerkiksi kiiltävä vai matta (Cilas s.a.). Mikronisoinnin eli hienontamisen vaikutusta keltaiseen väripigmenttiin tutki Guo (ym. 2018). Tutkimuksessa todettiin pigmentin koon vaikuttavan värin voimakkuuteen – hienompi jae oli värivoimakkuudeltaan vähäisempää kuin suurempi jae. Sopivan värin tekeminen voi siis olla mikroneista kiinni.

Materiaalin homogeenisuutta voidaan tarkastella analysoimalla materiaalin partikkelikokojakauma, joka voidaan esimerkiksi esittää lukumäärä- tai tilavuusjakaumalla. Lukumääräjakauma kertoo erikokoisten partikkelien määrän halkaisijan perusteella, kun tilavuusjakauma huomioi kappaleiden tilavuuden korostaen suurten hiukkasten osuutta. Mitä leveämpi partikkelikokojakauman tiheysjakauma on, sitä laajemmalla alueella ovat myös kyseisen näytteen partikkelikoot. (Horiba 2017, 1, 7–9) Mikäli materiaalin partikkelikoon halutaan olevan hyvin homogeenista, voi leveä partikkelikokojakauma olla viite tilanteeseen nähden liian heterogeenisesta materiaalista.



KUVA 1. Ote Malvern Morphologi -mittalaitteella analysoidusta lentotuhkanäytteestä (μm).

Partikkelien muoto vaihtelee sekä eri materiaaleista valmistettujen aineiden että yksittäisen aineen eri hiukkasten välillä. Muotoa voidaan kuvailla erilaisten mittojen, kuten halkaisijan ja pituuden, avulla. Yleensä partikkelikoon määrittämisessä käytetään oletusta, että aineosat ovat pallomaisia. (Horiba 2017, 2) Yksittäiset partikkelit voivat olla muodoltaan muun muassa levyjäisiä, neulamaisia, säännöllisiä kuutioita tai pallomaisia. Tämän lisäksi hiukkasten pinta ei useinkaan ole täysin tasainen. Partikkelien eri ulkomuotoja näkyy kuvassa 1. Kuvassa mitat on esitetty mikrometreinä. Malvern Morphologi mittalaitteen suorittamassa mittauksessa tutkittiin noin 150 000 kappaletta lentotuhkapartikkeleita, joiden tilavuusjakauman keskimääräinen partikkelikoko (D50) oli 23,6 μm . Samalla mittauksella voidaan myös arvioida partikkelien ympyrämäisyyttä arvon 1 ollessa täysi ympyrä. Kyseisessä analysissä pyöreäyden keskiarvoksi saatiin 0,86 mitattuna kaikista partikkeleista.

LISÄÄNTYNYT PINTA-ALA JA HUOKOISUUS

Partikkelikoon pienentämisen vaikutus aineen ominaisuuksien muutokseen on selvästi havaittavissa, kun ajatellaan pienennettäväksi 1 cm:n sivultaan oleva kuutio 1 μm :n kokoisiksi kuutioiksi. Pienentämisen tuloksena syntyy 1012 kuutiota, jolloin aineen pinta-ala on alkuperäisen 6 cm^2 :n sijasta 6 m^2 . Kuvassa 2 on esitetty pallomaisen partikkelin halkaisijan vaikutus kokonaispinta-alaan.



KUVA 2. Kokonaispinta-alan muutoksen suhde pallomaisen partikkelin halkaisijaan (muokattu Robatzek 2014, 9).

Pienentämisen ja pinta-alan lisääntymisen seurauksena aineen reaktiivinen pinta on kasvanut ja sitä kautta muun muassa sidostenmuodostumiskyky on lisääntynyt. Vastaavasti on arvioitu, että kuution pinnalla 20 μm :n kokoisessa partikkelissa olevien atomien määrä on 0,006 %, kun 0,2 μm :n kokoisessa vastaava prosenttimäärä on 0,6 % (Hosokawa 2012, 5). Ainetta hienonnettaessa vielä enemmän nanometriluokkaan aineen pinnalla olevien atomien määrä suhteessa aineen sisällä olevien määrään kasvaa merkittävästi (Inorganic Chemistry 2016).

Huokoisuus ja huokosten kokojakauma vaikuttavat materiaalin ominaisuuksiin. Isoja huokosia hyödynnetään esimerkiksi katalyyteissä ja adsorbenteissa, jolloin suuret huokokset mahdollistavat aineille suuren pinta-alan reagoida katalyytin kanssa sekä adsorptiosovelluksissa sujuvan kiinnittymisen aineen pintaan. Pienet huokokset taas mahdollistavat yhä suurentu-

neen pinta-alan. Huokoskoko jaetaan mikro- (halkaisija alle 2 nm), meso- (halkaisija 2–50 nm) ja makrohuokoisuuteen (halkaisija yli 50 nm). (Merkus 2009, 34)

Hienonnuksen avulla kasvatettua pinta-alaa voidaan hyödyntää erilaisissa adsorptiosovelluksissa. Adsorption avulla aineen pintaominaisuuksia voidaan muokata huomioiden kyseisen sovelluksen vaatimukset. Haluttuja ominaisuuksia ovat muun muassa kostumis- ja likaantumistaipumus, varaus, pintajännitys ja vuorovaikutusominaisuudet. (Zhou 2016) Adsorptiota hyödynnetään esimerkiksi veden- ja ilmansuodattimissa, joissa aktiivihiilisuodatin adsorboi epäpuhtauksia, kuten kemikaaleja, hiukkasia ja bakteereita.

Energiateollisuudessa partikkelikoon pienentämisen kautta muodostunut suurentunut pinta-ala lisää polttoaineiden ja niitä ympäröivän kaasun välistä lämmön- ja aineensiertonopeutta pinta-alaa, minkä ansiosta lämmön- ja aineensiertonopeus kasvaa. (Horttanainen 1999, 23) Vastaavasti betonin valmistuksessa sementin suuri ominaispinta-ala nopeuttaa betonin lujudenkehitystä (Mannonen 2016, 26). Betonin valuvuus- ja leviämisoimaisuuteen voidaan myös vaikuttaa valitsemalla hienojakoinen sementti. Kyseisen ominaisuutensa vuoksi tällaista betonia voidaan käyttää esimerkiksi betonirakenteiden tiivistämisessä.

LIUKENEVUUS JA REAKTIONOPEUS

Materiaalin nopea liukeneminen on monessa käytännön sovelluksessa tärkeää. Esimerkiksi sokerin liukenemisen tehen tai lääkeaineen liukenemisen ruoansulatuksessa halutaan tapahtuvan lyhyessä ajassa. (Merkus 2009) Kiinteän aineen osallistuessa kemialliseen reaktioon, reaktiot pystyvät tapahtumaan ainoastaan aineen pinnassa. Jauhatus siis lisää aineen reaktiivista pinta-alaa lisäten samalla liukoisuutta, joka onkin monesti syynä partikkelikoon pienentämiselle (Merkus 2009).

Arkipäiväisenä esimerkkinä pinta-alan vaikutuksesta liukenevuuteen ja reaktionopeuteen on hienosokerin ja palasokerin liukeneminen veteen. Hienosokerilla on isomman pinta-alan ansiosta suurempi reaktionopeus, joten hienosokeri on liuennut veteen ennen palasokeria. Royal Society of Chemistryn (2011) julkaisemassa demonstraatiossa pinta-alan vaikutusta reaktionopeuteen esitetään maitojauheella. Kasassa oleva maitojauhe palaa selvästi hitaammin kuin liekin päälle ripoteltu maitojauhe. Samalla havainnollistuu myös jauheen ominaisuus palaa räjähdysmäisesti, kun pientä partikkelia on sopivassa suhteessa ilmassa syttymislähteen ollessa läsnä.

VIRTAUSOMINAISUUDET JA PAKKAUTUMINEN

Kiintoaineissa olevien partikkelien välillä on sähköisiä vuorovaikutuksia, jotka muodostavat partikkeleita yhdessä pitäviä adheesiovoimia. Näitä adheesiovoimia aiheuttavat esimerkiksi van der Waalsin voimat ja sähköstaattiset voimat. Van der Waalsin voimat ovat suurimmil-

laan silloin, kun partikkelien pinnat ovat kosketuksissa toisiinsa. Voimat suurenevat entisestään pinta-alan ollessa laaja. Sähköstaattiset voimat sen sijaan ovat heikompia partikkelien ollessa hyvin lähellä toisiaan. Kyseisten voimien vaikutus kasvaa partikkelien välimatkan suurenessa. Kun tarkastellaan kuivan ja hienojakoisen materiaalin virtausta, voidaan olettaa edellä mainituista voimista van der Waalsin voimien olevan merkityksellisimpiä. (Schulze 2008, 23-25)

Adheesiovoimat vaikuttavat partikkelien pakkautumiseen ja virtausominaisuuksiin (Schulze 2008, 23). Pienillä partikkeleilla kyseiset voimat voivat haitata virtaavuutta, kun taas isommilla partikkeleilla virtaavuus paranee massan ja painovoiman vaikutuksesta. (Merkus 2009, 4–5) Myös partikkelin muodolla on merkitystä virtaavuuteen: partikkelin pyöreys on yleensä virtausta edesauttava tekijä. (Horiba 2017, 1)

Teollisuudessa materiaaleja säilytetään muun muassa silloissa, joista materiaalia puretaan jatkohyödyntämistä varten. Siilojen tyhjentämiset ja materiaalien purut eivät välttämättä ole ongelmattomia. Esimerkiksi hienojakoinen materiaali voi muodostaa siilon suulle esteen, joka vaikeuttaa materiaalin purkamista ulos. Yhtenä syynä esteen muodostumiselle ovat hienojakoisten partikkelien adheesiovoimat. (Schulze 2008, 1–3)

Adheesiovoimia käytetään teollisuudessa myös hyödyksi. Niiden avulla saadaan aikaan esimerkiksi agglomeraatteja ja jauhepinnoitteita (Schulze 2008, 23). Jauhepinnoitusta käytetään yleisesti metallien ja metallituotteiden maalauksessa, ja jossain määrin myös puu-, muovi- ja komposiittituotteita voidaan jauhemaalata. Jauhepinnoitteen materiaalina käytetään esimerkiksi polyesteriä ja epoksia. (Perecolor s.a.) Agglomerointia käytetään teollisuudessa esimerkiksi vähentämään materiaalin pölyämistä ja helpottamaan sen käsittelyä. Esimerkkinä tästä on lasipölyn agglomerointi (FEECO 2018, 4-5).

RÄJÄHTÄVYYS

Partikkelikoon hienontaminen lisää aineen reagoivaa pinta-alaa, jonka vuoksi hienoksi jauhettu aine on räjähdysherkempää kuin isompirakeinen aine. Räjähdysherkkyyteen vaikuttaa muun muassa syttymiseen vaadittava energia, jonka tarve vähenee partikkelikoon pienentyessä. (Merkus 2009, 6–7) Esimerkiksi puupölyn ollessa alle 0,5 mm:n kokoista ja sen pitoisuuden ilmakeitiossa ollessa enemmän kuin 20 g, voi kipinä tai muu syttymislähde aiheuttaa pölyräjähdysten (Laaksonen 2005, 3).

Lisääntynyt räjähdysherkkyys on huomioitava hienoa materiaalia työstettäessä. Esimerkiksi hapen läsnäoloa prosessissa voi olla tarpeen rajoittaa. Lisäksi toiminta voidaan joutua rajaamaan inerttiin ympäristöön, jossa työkaasuna käytetään räjähdysten estävää kaasua, kuten typpeä.

Pölyräjähdysten mahdollisuus on läsnä monella teollisuuden alalla. Esimerkiksi Etelä-Saimaa (Knaappila) uutisoi 10.10.2018 Finnsementin tehtaalla olleesta hiilipölyn aiheuttamasta pölyräjähdysvaarasta. Paikalle tullut palokunta esti mahdollisen räjähdysten sammuttamalla alkaneen palon. Sanomalehti Ilkka (Tekoniemi 2015) uutisoi lämpövoimalassa tapahtuneesta pölyräjähdyksestä, jossa loukkaantui kaksi paloa sammuttanutta palomiestä. Pölyräjähdys aiheutui turvepölystä, jonka sytytti laitoksella palanut kuljetin.

LOPUKSI

Monessa käytännön sovelluksessa materiaalin partikkelikoon täytyy olla sopivaa kyseiseen käyttökohteeseen, koska partikkelit vaikuttavat niistä valmistettujen lopputuotteiden laatuun ja ominaisuuksiin. Nämä ominaisuudet ja niiden asettamat vaatimukset vaihtelevat sovelluskohteittain. Teollisuuden biopohjaisissa sivuvirroissa on lukuisia käyttökelpoisia materiaaleja, joita voidaan hyödyntää mikronisointitutkimuksessa. Tutkimuksen avulla näistä sivuvirroista voidaan kehittää uusia korkeamman jalostusasteen tuotteita. Jotta tätä kehitystyötä voidaan tehdä, on tunnettava partikkelikoon vaikutus hienonnetusta materiaalista tehtyihin tuotteisiin.

HITU-hankkeessa hyödynnetään biolientotuhkan ja -hiilen hienontamisen avulla saatuja uusia ja parantuneita partikkeliominaisuuksia ja etsitään uusia, innovatiivisia materiaalisovelluksia hienonnetuille materiaaleille. Hankkeessa pyritään löytämään ratkaisuja korvaamaan luonnonvarojen käyttöä hyödyntäen pääasiassa Kymenlaaksossa muodostuvia teollisuuden biopohjaisia sivuvirroja. HITU-hanke alkoi elokuussa 2018, ja hanke kestää vuoden 2020 loppuun. Lisätietoa hankkeesta: www.xamk.fi/HITU.

LÄHTEET

Basf. 2017. Pigment application. WWW-dokumentti. Saatavissa: https://www.dispersions-pigments.basf.com/portal/basf/ien/dt.jsp?setCursor=1_556308 [viitattu 24.9.2018].

Brown, R. L. & Richards, J. C. 1970. Principles of Powder Mechanics: Essays on the Packing and Flow of Powders and Bulk Solids. Pergamon Press.

Cilas. s.a. Particle Size and Shape Analysis in PAINT, INK and PIGMENT INDUSTRY. WWW-dokumentti. Saatavissa: <http://www.bruben.com.ar/pdf/Aplicaciones/020-pigmentos%20paint%20industry.pdf> [viitattu 16.10.2018].

FEECO. 2018. The agglomeration handbook. The FEECO Process equipment series. WWW-dokumentti. Saatavissa: <http://go.feeco.com/acton/attachment/12345/f-00b2/1/-/-/-/Agglomeration-Handbook.pdf> [viitattu 23.10.2018].

Guo, D., Yang, Q., Chen, P., Chu, Y., Zhang, Y. & Rao, P. 2018. The influence of micronization on the properties of Pr-ZrSiO₄ pigment. Dyes and Pigments 153 (2018). Saatavissa: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0143720817323987> [viitattu 18.10.2018].

Knaappila, T. 2018. Pölyräjähdys uhkasi Finnsementin tehtaalla Lappeenrannassa - Kytö-palo sulatti kaapeleita, mutta hiilipöly ei ehtinyt syttyä. Etelä-Saimaa 10.10.2018. Saatavissa: <https://esaimaa.fi/uutiset/lahella/6b3c3ad8-2c5c-417a-a4df-059674528aad> [viitattu 16.10.2018].

Horiba. 2017. A guidebook to particle size analysis. WWW-dokumentti. Saatavissa: https://www.horiba.com/fileadmin/uploads/Scientific/eMag/PSA/Guidebook/pdf/PSA_Guidebook.pdf [viitattu 16.10.2018].

Horttanainen, M. 1999. Syttymisen ja palamisen eteneminen partikkelikerroksissa. WWW-dokumentti. Saatavissa: <http://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/31000/TMP.objres.351.pdf> [viitattu 19.10.2018].

Hosokawa, M., Nogi, K., Naito, M. & Yokoyama, T. (Toim.). 2012. Nanoparticle technology handbook.

Inorganic Chemistry. 2016. Basic Science of Nanomaterials. Surface Energy. WWW-dokumentti. Saatavissa: [https://chem.libretexts.org/Textbook_Maps/Inorganic_Chemistry/Book%3A_Inorganic_Chemistry_\(Wikibook\)/Chapter_11%3A_Basic_Science_of_Nanomaterials/11.4%3A_Surface_Energy](https://chem.libretexts.org/Textbook_Maps/Inorganic_Chemistry/Book%3A_Inorganic_Chemistry_(Wikibook)/Chapter_11%3A_Basic_Science_of_Nanomaterials/11.4%3A_Surface_Energy) [viitattu 16.10.2018].

Klippax, P. 2006. Gloss Control and the Role of Particle Size. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.pcimag.com/articles/83141-gloss-control-and-the-role-of-particle-size> [viitattu 23.10.2018]

Laaksonen, E. 2005. Puupölyjen aiheuttama palo- ja räjähdysvaara ja sen torjuminen mekaanisessa puunjaloitusteollisuudessa. WWW-dokumentti. Saatavissa: https://www.tekninenopettaja.net/images/tyoturvallisuus/Atex/puupolyjen_aiheuttama_rajahdysvaara.pdf [viitattu 18.10.2018].

Liikennevirasto. 2016. Halkeamien korjaaminen. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://julkaisut.liikennevirasto.fi/sillat/silko/kansio1/s1233.pdf> [viitattu 22.10.2018].

Mannonen, R. 2016. Mitä betoni on? Perustietoa betonista 2016. Suomen Betoniyhdistys ry. WWW-dokumentti. Saatavissa: <http://www.betoniyhdistys.fi/media/kurssimateriaalia/betonin-perusteet.pdf> [viitattu 18.10.2018].

Merkus, H. G. 2009. Particle Size Measurements. Springer.

Perecolor. s.a. Yleistä jauhemaalauksesta. Perecor Works Oy. WWW-dokumentti. Saatavissa: <http://www.perecolor.fi/fi/yleista-jauhemaalauksesta.html> [viitattu 16.10.2018].

Pihkala, J. 2011. Prosessitekniikka, Prosessiteollisuuden yksikkö- ja tuotantoprosessit.

Robatzek, R. 2014. Size Reduction and the Importance of Low Particle Size. International Powder & Bulk Solids Conference & Exhibition. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.slideshare.net/UBMCanon/size-reduction-and-the-importance-of-particle-size> [viitattu 16.10.2018].

Royal Society of Chemistry. 2011. The effect of surface area on reaction rate. Videoleike. Saatavissa: <https://www.youtube.com/watch?v=FBF7auCMY58> [viitattu 16.10.2018].

Schulze, D. 2008. POWDERS AND BULK SOLIDS. Behavior, Characterization, Storage and Flow. Springer.

Tekoniemi, S. 2015. Kaksi palomiestä loukkaantui lämpövoimalan räjähdyksessä Lapualla. Ilkka 22.12.2015. Saatavissa: <https://www.ilkka.fi/uutiset/poliisiuutiset/kaksi-palomiestä-loukkaantui-lampovoimalan-rajahdyskessa-lapualla-1.1967653> [viitattu 18.10.2018].

Zhou, L., Das, S., Ellis, B. 2016. Effect of surfactant adsorption on the wettability alteration of gas-bearing shales. Environmental Engineering Science. 10. 766–777.

Ämmälä, A. s.a. Mekaaniset yksikköprosessit. Oulun yliopisto. WWW-dokumentti. Saatavissa: <http://www oulu.fi/sites/default/files/content/PYP%20I%202014%20Teema%202.pdf> [viitattu 16.10.2018].

ENERGIATEHOKAS PUMPPAUS

Kalle Suoniemi & Hannu Sarvelainen & Erja Tuliniemi

Energiatehokkaan pumpkauksen perustana on tarpeenmukaisesti mitoitettu ja ohjattu pumppu. Merkittäviä säästöjä voidaan saavuttaa erityisesti silloin, kun pumpulla tuotettava virtausmäärä vaihtelee tai putkistossa ei ole suuria korkeuseroja. Pumpun säätötavoista kierroslukusäätö on energiatehokkaampi kuin ohivirtaus- tai kuristussäätö.

Tässä artikkelissa esitetään Ecoool-hankkeen aikana toteutetun energiatehokkaan pumpkauksen tarkastelun tulokset. Tarkastelukohteena ovat toimineet hankkeen kumppanin Virolahden kunnan jätevedenpumppaamot. Hankkeen päärahoittajana oli Uudenmaan liitto Euroopan aluekehitysrahastosta.

VIRTAUSTEKNIIKAN TEORIA

Putkiston vastusominaisuuksia voidaan kuvata putkistokäyrällä. Putkistokäyrästä nähdään, kuinka paljon tiettyä virtaamaa kohti tarvitaan nostokorkeutta (painetta). Jos putkiston loppupää on korkeammalla kuin alkupää tai loppupäässä on alkupäätä suurempi paine, putkistossa on staattista nostokorkeutta. Tässä tapauksessa pumpulla on tuotettava painetta, vaikka putkistossa ei ole virtausta. Suljetuissa piireissä ei ole staattista nostokorkeutta. Putkistossa muodostuu dynaamista nostokorkeutta virtaavan aineen painehäviöstä. Dynaaminen nostokorkeus nelinkertaistuu, kun virtaama kaksinkertaistuu. Kuvassa 1 on staattisen nostokorkeuden osuus noin viisi metriä. Kuvasta nähdään myös dynaamisen nostokorkeuden muodostuminen. Esimerkiksi virtaamalla 40 l/s tarvitaan noin 45 metriä nostokorkeutta. (Bohl 1988)



KUVA 1. Erään jätevesilinjan putkistokäyrä.

Kaksi yleisintä tapaa säätää putkiston virtaamaa ovat kuristussäätö ja kierroslukusäätö. Kuristussäädössä pumpun kierrosnopeus pysyy muuttumattomana, ja virtaaman säätö tapahtuu kuristamalla virtausta pumpun jälkeen olevalla venttiilillä. Kuristus nostaa putkiston dynaamisen nostokorkeuden osuutta ja pienentää virtausmäärää. (Wirzenius 1978)

Pumppauksessa voidaan saavuttaa huomattavia säästöjä ohjaamalla pumpun sähkömoottorin kierrosnopeutta taajuusmuuttajalla. Laskemalla pumppua pyörittävän moottorin kierrosnopeutta pumpun tuottama nostokorkeus ja virtaama pienenevät. (Wirzenius 1978)

Pumpun tehonkulutus pienenee molemmilla säätötavoilla. Kierroslukusäädössä tehonkulutus pienenee kuitenkin kuristussäätöä enemmän, koska pumpulla tuotettava paine on kuristussäätöä pienempi. Pumpun kokonaishyötysuhde on haasteellinen arvioida, koska tällöin moottori ei toimi nimellisteholla. Tällöin moottorin hyötysuhde ei ole optimaalinen. (Hietalahti 2013, 72)

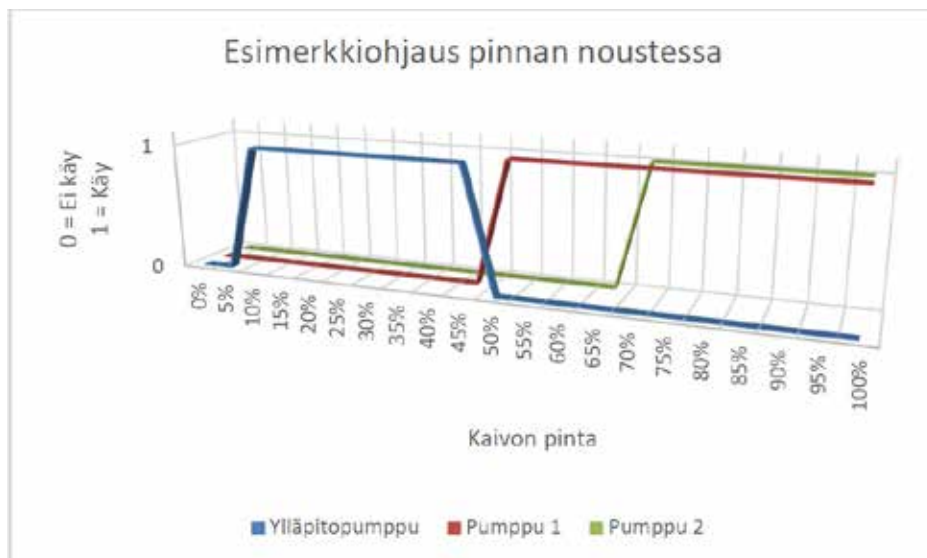
Kierroslukusäädön käytöllä saavutetaan huomattavia säästöjä pumppauksessa, jos virtaamaa pidetään pitkiä aikoja pienemmällä kuin mitoitusvirtaamalla. Hidas pumppaaminen on usein energiatehokkaampaa kuin nopea. (Wirzenius 1978)

ENERGIATEHOKKAAN PUMPPAUKSEN SOVELTAMINEN ECOOL-HANKKEESEEN

Ecool-hankkeessa on tarkasteltu jätevedenpumppaamoiden kokonaisenergiankulutusta ja pyritty löytämään vähemmän energiaa kuluttavia ratkaisuja jätevedenpumppaamoihin. Selvityksen tarkastelukohteina olivat Virolahden kunnan omistaman jätevedenpumppauslinjan 11 pumppaamaa. Pumppauslinja kulkee Virojoelta Ristiniemeen. Tarkastelu aloitettiin keräämällä lähtötietoja, kuten pumppaamoiden sähkönkulutus, pumppujen ja putkistojen käyrät sekä jäteveden virtaamat. Pumppaamot on varustettu kahdella rinnankytketyllä identtisellä pumpulla, jotka ovat yksinopeuksisia ON/OFF-pumppuja. Normaalitytilanteessa pumppuja ajetaan vuorotellen, ja kun pumppaamossa tarvitaan lisäkapasiteettia, ajetaan pumppuja samanaikaisesti rinnan. Pumppujen ohjaukseen vaikuttaa jätevesikaivon pinnankorkeus, jota mitataan pinnankorkeusmittareilla.

Tarkastelussa nousi esille kolme vaihtoehtoa energiatehokkaamman pumppauksen toteuttamiseen: nykyisten pumppujen muuttaminen taajuusmuuttajakäyttöisiksi, kolmannen pumpun asentaminen peruskuormapumpuksi tai täydellinen pumppauskalustoremontti.

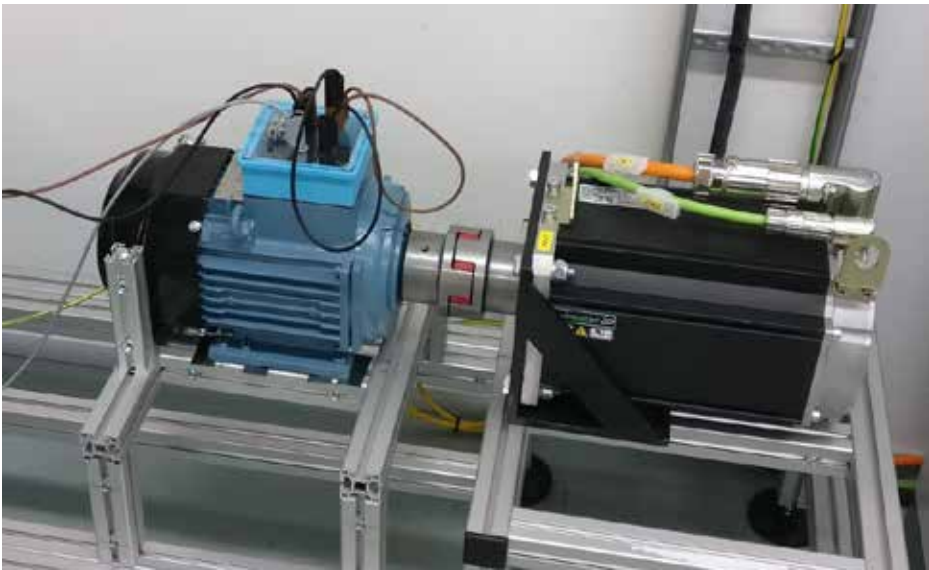
Teoreettisen tarkastelun pohjalta todetaan, että pumppujen taajuusmuuttajaohjauksella saavutetaan merkittäviä hyötysuhdeparannuksia pumppauksen virtauksen pienentyessä. Kolmannen pumpun asentaminen peruskuormapumpuksi mahdollistaa pumpun mitoittamisen tarpeenmukaiseksi, jolloin pumpun toiminta-alueella saavutetaan paras hyötysuhde. Kuvassa 2 nähdään peruskuormapumpun ja nykyisten pumppujen esimerkkiohjaus kaivon pinnankorkeuden muuttuessa.



KUVA 2. Esimerkkiohjaus pinnan noustessa (Myllyviita 2016).

Täydellinen pumppukalustoremontti on kallis investointi, joka vaatii osaamista pumppujen toimialueiden optimoinnista, koska virtaus vaihtelee huomattavasti. Säädettyjen sähkömoottorikäyttöjen mitoituksessa pumppujen moottoreiden optimaalinen hyötysuhdealue olisi se, jolla pumppu käy suurimman osan ajastaan. Tulee kuitenkin huomioida, että mitoitettu moottori pystyy hoitamaan maksimivirtauksen moottorin kentänheikkensalueella tarvittaessa. Tarkastelukohteiden pumpuilla on vielä teknistä käyttöikää jäljellä noin 10 vuotta, joten täydellinen pumppukalustoremontti ei vielä ole ajankohtainen.

Teoreettisen tarkastelun tueksi Xamkin sähkötekniikan laboratoriotiloihin rakennettiin sähkömoottoreiden testauslaitteisto. Testauslaitteistossa voidaan testata sähkökoneita, jotka voivat olla rakenteeltaan erityyppisiä moottoreita tai generaattoreita. Laitteisto koostuu ohjauspulpetista ja testipenkestä, johon on kiinnitetty valmiiksi servomoottori, kuva 3. Servomoottorin avulla testattavia sähkökoneita kuormitetaan eri tavoin. Servomoottorin ohjaus tapahtuu ohjauspulpetin kautta.



KUVA 3. Vasemmalla testattava moottori ja oikealla servomoottori (kuva Kalle Suoniemi).

Sähkökoneiden testauspenkki ja sen yhteyteen rakennetut laitteet mahdollistavat sähkökoneiden käytön suoralla verkkokäytöllä (50 Hz) tai säätämällä koneiden kierrosnopeutta taajuusmuuttajalla. Pumppujen sähkömoottoreita voidaan kuormittaa eri tavoilla ja näin simuloida todellisia käyttötilanteita. Laitteistolla voidaan selvittää esimerkiksi moottorin hyötysuhde erilaisilla kuormituksilla ja taajuuden eri arvoilla. Kuormitus voi olla jatkuva tai jaksottaista kahden esiasetetun vääntömomentin välillä. Vääntömomenttisäädöstä saadaan myös kuormitus valittua lineaariseksi tai neliölliseksi. Simuloitaessa pumppujen kuormitusta valitaan neliöllinen kuormitus.

TULOKSET JA JOHTOPÄÄTÖKSET

Hankkeen tarkastelukohteena olleiden jätevesipumppaamoiden teoreettisen tarkastelun tueksi suoritettiin myös säädetyllä sähkömoottorikäytöllä testiajot Xamkin testauslaitteistolla. Testiajojen tulokset tukevat teoreettista laskentaa. Hyötysuhdetta tarkasteltaessa on huomioitava, että säädetyssä sähkömoottorikäytössä hyötysuhde lähtee laskemaan aina, jos ei olla nimellisen toimintapisteen läheisyydessä. Toisaalta virtausprosessin hyötysuhde paranee, kun siirrytään pienemmille pumppaustehoalueille. Näiden kahden tarkastelun pohjalta on löydettävä optimaalinen toimintapiste. Haettaessa optimaalista toimintapistettä simuloitavan laitteiston tulee olla saman kokoluokan laitteisto kuin asennettavan laitteiston. Tulevaisuudessa uusien pumppaamoiden suunnitteluvaiheessa tulee huomioida virtaaman optimaalinen hyötysuhde ja säädetyin sähkömoottorikäytön hyötysuhdealueet, jolloin näitä kahta tarkasteltaessa saavutetaan optimaalinen energiansäästö.

LÄHTEET

Bohl, W. 1988. Teknillinen virtausoppi. Tampere. Oy Sonator Ab.

Hietalahti, L. 2013. Teollisuuden sähkökäyttö. 1. painos. Tampere: Amk-Kustannus Oy Tammertekniikka.

Myllyviita, N. 2016. Sähkökäyttöisten keskipakotoimisten virtauslaitteiden energiatehokkaan mitoituksen, käytön ja ohjauksen suunnittelu. PDF-dokumentti. Saatavissa: <http://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-2016090113949> [viitattu 18.10.2018].

Wirzenius, Allan. 1978. Keskipakopumput. 3. painos. Tampere: Tampereen kirjapaino Oy.

ENERGIATEHOKKUUTTA ECOOOL-HANKKEESSA

Eveliina Kuokkanen & Erja Tuliniemi

Kolmivuotinen energiatehokkuushanke, Ecoool, haastavan LVIS-tekniikan kiinteistöille päättyi syyskuussa 2018. Hankkeessa tarkasteltiin mukana olleiden kiinteistöjen toimintoja energiatehokkuuden näkökulmasta, ja kiinnostuksen kohteina olivat mm. ilmanvaihto, lämmitys ja sähkönkulutus. Kiinteistöille tehtiin energiaselvityksiä, joissa esitetyt huomiot ja muutosehdotukset antoivat kiinteistöjen omistajille mahdollisuuden vähentää oman kiinteistön energiakulutusta. Sääto- ja muutostoimenpiteiden mahdollistamat laskennalliset energiasäästöt vaihtelivat vähäisistä huomattaviin säästöihin vuositasolla. Hankkeessa mukana olleet energiatekniikan insinööriopiskelijat olivat hankkeen toteutuksen kannalta merkityksellisiä. Toisaalta hyöty oli molemminpuolinen opiskelijoiden samalla hyötyessä saadusta opista.

Ecoool-hankkeessa kertyneitä kokemuksia ja huomioita sekä eräille toiminnoille tehdyt energiansäästöön tähtäävät toimintamallit koottiin Kiinteistöhuollon ohjeistukset ja toimintamallit -teokseen, joka julkaistiin syksyllä 2018. Ecoool-hanketta seuraa ETKOT-niminen hanke, jossa keskitytään muun muassa ilmanvaihdon optimoinnin energiansäästömahdollisuuksiin erikäyttöasteisissa kiinteistöissä. Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulun hallinnoiman Ecoool-hankkeen päärahoittajana toimi Uudenmaan liitto Euroopan aluekehitysrahastosta.

ECOOOL-HANKE

Syyskuussa 2018 päättynyt Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulun Metsä, Ympäristö ja Energia -vahvuusalan hallinnoima Ecoool-hanke (Ecoool) käynnistyi lokakuussa 2015 silloisen Kymenlaakson ammattikorkeakoulun ja Mikkelin ammattikorkeakoulun yhteishankkeena. Vuoden 2017 alussa Kymenlaakson ja Mikkelin ammattikorkeakoulut yhdistyivät Kaakkois-Suomen ammattikorkeakouluksi. Hankkeen vetovastuu oli Kymenlaaksossa Kotkan kampuksen yksiköllä. Rinnakkaishanke Ecoool-investoinnit alkoi Ecooolin kanssa samaan aikaan tarkoituksenaan varmistaa Ecooolissa tarvittavien kenttämittauslaitteiden hankinnat. Ecoool-investoinnit -hanke päättyi huhtikuussa 2017.

Ecooolissa tarkasteltiin erityiskiinteistöjen energiatehokkuutta, ja mukana olleet kiinteistöt olivat Ecooolin osatoteuttajien tiloja – toimisto-, koulu- ja palvelurakennuksia, pumppaamoita, kirkkoja, veturihalleja, kylmäkeittiö ja krematorio. Ecooolin osatoteuttajina olivat

Kotka-Kymin seurakunta (Ristiniemen kurssikeskus, Sunilan seurakuntatalo, Laajakosken kappeli ja Kymen krematorio), VR Group (Kouvolan varikko ja Pieksämäen vetokalustohalli), Maretarium (akvaariotalo), Kymijoen Ravintopalvelut Oy (keskuskeittiö Kapyysi), Virolahden kunta (Villinrannan palvelu- ja koulukeskus sekä pumppaamot) ja Mikkelin tuomiokirkkoseurakunta (tuomiokirkko ja seurakuntakeskus).

Ecoolin toteutuksen aikana tehtiin lähes 30 energiakatselmusta tai energiansäästöön tähtäävää selvitystä, joiden avulla osatoteuttajat pystyivät arvioimaan omia kehityskohteitaan. Hankkeen toteutuksessa oli mukana hankehenkilöiden lisäksi opettajia ja lähes 70 opiskelijaa energiatekniikan opintojen puolelta. Opettajat olivat asiantuntijan roolissa siinä, missä opiskelijat saivat käytännönläheistä oppia energiatehokkuusalalta. Tehtyjen toimenpiteiden lisäksi hankkeessa kirjoitettiin yhteensä 12 artikkelia tai julkaisua Ecoolist ja energiatehokkuudesta, ja hanke oli esillä erilaisissa tilaisuuksissa. Ecool järjesti yhdessä Vähähiiliset satamatoiminnot- ja Logistiikkaverstas-hankkeiden kanssa Energia ja Logistiikka 2017 -seminaarin Kotkan kampuksella keväällä 2017 (kuva 1). Lisäksi hanke oli esillä esimerkiksi Kotkan kauppakeskus Pasaatissa Eurooppa-päivänä toukokuussa 2017 ja Kotkan meripäivillä kesällä 2017.



KUVA 1. Tunnelmia Energia ja Logistiikka 2017 -seminaarista (kuva Eveliina Kuokkanen).

Hankkeen päättymisen yhteydessä syyskuussa 2018 koottiin tuloksia ja hankkeen parhainta antia yhteen. Seuraavissa kappaleissa esitetään tarkemmin opiskelijoiden roolia ja energiakatselmuksia, laskennallisia energiasäästöjä ja osatoteuttajien jo tekemiä säätötoimenpiteitä sekä hankkeen toimesta tehtyjä ja koottuja toimintamalleja ja ohjeistuksia.

OPISKELIJAT ENERGIAKATSELMUKSISSA JA KENTTÄMITTAUKSISSA

Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulun Kotkan kampuksella opetetaan energiatekniikkaa insinööriopiskelijoille. Ecoolin sisältämät energiakatselmukset otettiin osaksi lukuvuosien 2015–2016 ja 2016–2017 energiatekniikan 15 opintopisteen opintokokonaisuutta ”Energiakatselmustoiminta”, jolloin opiskelijoille avautui mahdollisuus päästä osalliseksi oikeaa katselmustoimintaa. Yhteensä 69 opiskelijaa pääosin kahdelta edellä mainitulta vuosikursilta suoritti katselmukset osatoteuttajien kohteille asiantuntijoiden opastuksessa ja valvonnassa. Energiakatselmustoiminta-opintokokonaisuus, Ecoolissa teetetyn opinnäytetyön ja harjoittelun mukaan lukien opiskelijoiden panos hankkeelle opintopisteissä laskettuna oli lähes 770. Kuvassa 2 energiatekniikan opiskelijoille esitellään sähkönlaadun analysointilaitetta.



KUVA 2. Energiatekniikan lehtori Marko Saxell opettaa sähkönlaadun analysointilaitteen käyttöä energiatekniikan opiskelijoille (kuva Petri Hurme, Vinkeä Design).

Katselmusten yhteydessä tutkittiin taustatietoja, suoritettiin kenttämittauksia ja tehtiin huomioita esimerkiksi rakennusten ilmanvaihdosta, lämmityksestä, sisälämpötilasta, lämpövuodoista ja valaistuksesta. Lisäksi kiinteistön lämmitysmuodon pohjautuessa fossiilisiin polttoaineisiin tehtiin vertailu vaihtoehtoisista lämmitysmuodoista. Havaintoja tehtiin suuri määrä, joista osa kertoi huomattavistakin energiansäästöpotentiaaleista. Opiskelijat kokivat pääasiassa hyvin myönteisesti osallistumisen katselmustoimintaan, jossa opittua teoriaa pääsi soveltamaan käytäntöön.

Energiakatselmustoimintaa ei voida tehdä ilman kenttämittauksia. Kenttämittausten avulla saadaan arvokasta tietoa rakennuksen energiankulutukseen vaikuttavien toimintojen senhetkisestä tilasta. Hankkeen aikana tehdyissä kenttämittauksissa tarkastelun kohteina olivat esimerkiksi lämmityskattiloiden savukaasujen koostumukset ja lämpötilat, joiden avulla arvioitiin polton hyötysuhdetta. Ilmanvaihdon lämmöntalteenoton (LTO) hyötysuhteen määrittämiseksi arvioitiin LTO:n toimivuutta. Sähkönlaadun analysaattorilla sen sijaan tarkasteltiin eri toimintojen sähkönkulutusta sähkökeskuksissa suoritetuilla mittauksilla. Kenttämittauslaitteiden käytön vaativuus vaihteli Fluke 435 -sähkönlaadun analysaattorista yksinkertaiseen vedenvirtausmittariin (tilavuusmittakuppi), joten kenttämittauksiin liittyvä vaadittava osaaminen vaihteli mittalaitteittain. Kuvissa 3 ja 4 työskennellään kenttämittauslaitteiden kanssa.



KUVA 3. Uuden virtausmittarin testaamista, kuvassa projektipäällikkö Erja Tuliniemi ja energiatekniikan lehtori Marko Saxell (kuva Eveliina Kuokkanen).



KUVA 4. Ilmanvaihdon virtausnopeuden tarkastelua Testo 435-4 -mittarilla Keskuskeittiö Kapyysissa, kuvassa energiatekniikan insinööriopiskelijoita (kuva Juha Palmu, Kymijoen Ravintopalvelut Oy).

LASKENNALLISET ENERGIASÄÄSTÖT JA TOTEUTETTUA SÄÄTÖTOIMENPITEITÄ

Energiakatselmuksiin kuuluvat arviot energiasäästöistä ja takaisinmaksuajoista, mikäli katselmusten yhteydessä havaitaan kehitettävää jollakin aihealueella. Ecoolissa toteutettujen säästötoimenpiteiden vaikutuksesta on hankkeen aikana säästetty energiassa lähes 2 500 MWh ja rahassa 172 000 €, lämmön ollessa 60 €/MWh ja sähkön 80 €/MWh. Säästökohteita löydettiin ilmastoinnista, lämmöntalteenotosta, valaistuksesta, rakenteista, lämmitysjärjestelmistä ja käyttäjien toimista. Seuraavassa on esitetty eräitä esille nousseita havaintoja ja muutostoimenpiteiden mahdollistamia energiasäästöjä koko hankkeen ajalta tarkasteltuna.

Ilmanvaihdossa ja lämmöntalteenotossa (LTO) todettiin täyden tehon käyntiä aikoina, jolloin rakennuksessa ei oleskeltu ja vähäisempi ilmanvaihto olisi ollut riittävää. Huonolla hyötysuhteella toiminut LTO sen sijaan samaan aikaan sekä hukkasi että lisäsi lämpöenergian tarvetta. Kiinteistöissä tehtiin muutoksia Ecoolin ehdotusten pohjalta esimerkiksi ilmanvaihdon käyntiaikoihin, ja säästötoimenpiteistä muodostui yhteensä 1 600 MWh:n energiansäästö ilmanvaihdosta ja LTO:sta.

Valaistuksen osuus kokonaisenergiakulutuksesta ei välttämättä ole suurin, mutta tarpeettomasti päällä olevat, vanhat ja käyttötarkoitukseen huonosti soveltuvat valaisimet aiheuttavat

aina turhaa energiankulutusta. Tilanteen päivitys voi lyhyen takaisinmaksuajan lisäksi edistää tilojen käyttömukavuutta. Ecoolin ehdotusten pohjalta kiinteistöt säästivät tehtyjen muutostöiden myötä valaistuksessa energiaa yhteensä 24 MWh. Muutostöiden piireisiin kuului esimerkiksi vanhojen polttimoiden vaihtaminen led-polttimoihin.

Lämmityksen osalta havaittiin parantamisen varaa esimerkiksi patteriverkon tasapainossa, kattiloiden palamishyötysuhteissa ja sopivissa sisälämpötiloissa. Ecoolissa tehtyjen ehdotusten pohjalta eräässä kiinteistössä sähkölämmityksen tarvetta pienennettiin hankkimalla ilmalämpöpumppuja. Toisessa kohteessa maakaasukattila vaihdettiin paremman hyötysuhteen kondenssikattilaan. Osassa kohteista lämmityspattereiden lämpötilat säädettiin oikealle tasolla. Muun muassa edellä esitettyjen toimenpiteiden ansiosta lämmityksessä säästettiin yhteensä 700 MWh.

Rakenteisiin liittyvät havainnot koskivat ilma- ja lämpövuotoja. Esimerkiksi ikkunoiden tiivisteissä havaittiin ilmapuotoja. Toisaalta käyttäjien tottumukset voivat myös aiheuttaa ilma- ja lämpövuotoja – esimerkiksi välioven auki pitäminen kovilla pakkasilla vaikuttaa sisälämpötilaan ja energiankulutukseen. Käyttäjillä ja käyttäjien havainnoilla on joka tapauksessa merkittävä rooli energiankulutuksessa. Käyttäjien oma asenne ja tietoisuus oman toiminnan vaikutuksista joko edesauttavat järkevää energiankäyttöä tai vähentävät sitä. Merkitystä on myös sillä, kuinka asioista viestitään ja mahdollistetaan käyttökoulutuksia. Esimerkiksi nykyaikaisen automaatiojärjestelmän kunnollinen hyödyntäminen ei ole mahdollista, mikäli järjestelmän oppimiseen ja käyttöön ei ole annettu riittävästi resursseja.

TULOKSENA TOIMINTAMALLEJA JA OHJEISTUKSIA

Energiakatselmusten jälkeen Ecoolissa suunniteltiin toimintamalleja, joiden avulla etenkin hankkeen osatoteuttajat voivat tarkastella toimintojaan. Toimintamallien ympärille tehtiin myös opinnäytetöitä, joita Ecoolin toimeksiannosta tehtiin yhteensä kuusi. Toimintamallien tarkoitus on antaa suuntaa antavaa kuvaa nykyhetken tilanteesta. Mikäli toimintamalli antaa tulokseksi selvän säästöpotentiaalın, kannattaa asiaa arvioida tarkemmin asiantuntijan avulla.

Toimintamallit ovat Excel-pohjaisia, ja niissä on toimintamallille sopivat, valmiiksi määritellyt yhtälöt ja osa yleisistä lukuarvoista. Käyttäjä lisää toimintamalliin omaan tilanteeseensa nähden soveltuvat lukuarvot täydennettäviin kohtiin. Toimintamallit käsittävät ilmalämpöpumppujen kannattavuustarkastelun, lämpimän käyttövesikierron tarpeenmukaisuuden arvioinnin, ilmanvaihdon tarkastelun ja paineilmapuotojen kustannuslaskurin.

Ilmalämpöpumppujen kannattavuustarkastelussa saadaan arvioitua pumpun mahdollistamien säästöjen määrä ja takaisinmaksuajan pituus ilmalämpöpumpulle. Toisaalta tuloksena voi myös olla, ettei ilmalämpöpumppu ole kannattava investointi. Mallissa on valmiiksi

esitettyt tiedot neljän vertailuilmalämpöpumpun osalta, ja tietoja on mahdollista käyttää myös potentiaalisen pumpun vertailuun.

Lämpimän käyttövesikierron tarpeenmukaisuutta kannattaa arvioida esimerkiksi silloin, kun lämpimän käyttöveden tarve on vähäinen, jolloin kierron aiheuttamat lämpöhäviöt voivat nousta merkittävään rooliin. Lämpimän käyttövesikierron vaihtoehtona on lämminvesivaraaja.

Ilmanvaihdon tarkastelussa ilmantarve arvioidaan ihmismäärän tuottaman hiilidioksidin (CO₂) ja rakennuksen tilavuuden avulla. Arvioinnin avulla voidaan laskea kustannussäästö, jonka CO₂-ohjaus mahdollistaisi. Mallissa huomioidaan lisäksi aikaohjelmien muutokset arvioituihin kustannussäästöihin.

Paineilmavuotojen kustannuslaskurissa kompressorin kuormitus- ja kevennyskäyntien tehojen ja vuodon keston avulla voidaan arvioida paineilmavuodon aiheuttamat kustannukset.

Toimintamallien lisäksi Ecoolissa kirjoitettiin ohjeistuksia energiakatselmusten aikana esiin nousseista aiheista. Ohjeistuksissa painotetaan nimenomaan Ecoolin kokemuksia. Ohjeistukseen valitut aiheet ovat lämpö- ja ilmavuotojen havaitseminen lämpökameralla, lämpötilan merkitys, kiinteistön valaistus, lämminvesikattiloiden hyötysuhde ja sähkötyöturvallisuus.

ECOLIN JÄLKEEN ETKOT

Ecoolille asetetut tavoitteet saatiin täytettyä hankkeen kolmivuotisen keston aikana. Energiatohokkuuden parissa työskentely ei kuitenkaan tule valmiiksi yhden tai useammankaan hankkeen aikana. Niinpä Ecoolin innoittamana alkoi lokakuun alussa hanke nimeltään ETKOT. ETKOT-hankkeessa huomio kiinnitetään vajaan käyttöösten kiinteistöjen energiankäytön optimointiin ja aktiivisessa käytössä olevien kiinteistöjen ilmanvaihtoon Kymenlaakson alueella. ETKOT-hankkeen kohteena on erityisesti kuntasektori unohtamatta kuitenkaan yritysmaailmaa. Hankkeen tuloksia ovat ohjeistukset energiankäytön ja ilmanvaihdon optimoinnista. Lisätietoa ETKOT-hankkeesta: www.xamk.fi/etkot.

MONIPUOLISET BIOTALOUDEN PILOTOINTI- JA MITTAUSMAHDOLLISUUDET KYMENLAAKSOON

Sirpa Rahiala & Juha Solio & Kirsi Tallinen

Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulussa (Xamk) kehitetään Xamkin BioSammon ja Kotkan kampuksen tutkimusympäristöjä bioraaka-aineiden soveltavaa tutkimusta sekä pilotointi- ja mittaustoimintaa varten luomalla laite- ja toteutussuunnitelmat ja selvittämällä laitekannan kehittämisen vaatimia investointikustannuksia. BioSammossa kehitystyötä tehdään jo puujakeiden jalostamiseksi biohiileksi, ja tutkimusympäristö keskittyy jatkossa mm. biohiilen ja -tuhkan soveltavaan tutkimukseen. Lisäksi Kotkassa on pitkä osaamista erityisesti päästömittauksista. Uusiin tarpeisiin tulisi kuitenkin pystyä vastaamaan biotalousalan kehittyessä, esimerkkeinä biopolttoaineiden tutkimus ja tuotetun biokaasun koostumuksen mittaaminen.

Nyt kehitystoimintaa toteutetaan myös BioPILOTIT-hankkeen avulla, jossa päärahoitus tulee Uudenmaan liitolta Euroopan aluekehitysrahastosta (EAKR). Hankkeen vaikutuksella Xamkin Kymenlaakson yksiköiden mahdollisuudet monipuoliseen tutkimus- ja kehitystyöhön laajenevat.

JOHDANTO

BioPILOTIT-hankkeen keskeisenä tavoitteena on biotalouden edistäminen ja tutkimuksen kehittäminen Xamkin Kymenlaakson yksiköissä. Xamkin bio- ja kiertotalouden tutkimuskeskus BioSampo Kouvolassa on siirtynyt Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulun hallintaan Kouvolan seudun ammattiopistolta elokuussa 2017. Tällä hetkellä BioSampoa ollaan kehittämässä oppimisympäristöstä soveltavan tutkimuksen toimintaympäristöksi. BioSampoon on kohdistunut kasvavaa kiinnostusta biotalouden ja kiertotalouden termiseen käsittelyyn liittyvien erikokoisten yritysten puolelta. BioSammossa on jo charcoal-halli valmiina ja tarvittaessa tilaa ympärillä laajentaa toimintaa. Sijainti keskellä Kymenlaaksoa palvelee koko maakuntaa ja sen toimijoita.

Bio- ja kiertotaloudessa mielenkiinto kohdistuu tällä hetkellä erilaisten sivuvirtojen hyödyntämismahdollisuuksiin. Kymenlaakson alueellakin usealta yritykseltä jää erilaisia sivuvirtoja,

joiden hyötykäyttöä halutaan edistää. Alueella haluttavasta poltto-/energiantuotantotekniikasta ja muiden Kymenlaakson alueen toimijoiden tarpeista on jo tehty alustavasti selvitystä. Hankkeessa selvitystyötä jatketaan, ja jatkossa keskitytään erilaisten tekniikoiden vertailuun, jotta saadaan riittävästi tietoa teknistä suunnittelua varten. Yritystarpeista on myös nousut esiin mm. tarve FTIR-monikaasuanalysointilaitteille biotaloustoiminnan kehittämisessä, ja analysointilaitteen käyttöönotto mahdollistaa paremmin myös uusiin tutkimushaasteisiin vastaamisen.

HIENOJAKOISTEN PUUMATERIAALIEN HYÖDYNTÄMINEN

Erityisesti hankkeessa keskitytään hienojakoiisiin puumateriaaleihin ja niiden hyödyntämiseksi tarvittavien prosessien pilotointiympäristön kehittämiseen. Puupohjaisten sivuvirtojen (sahanpuru, murskattu jätepuu) hyödyntämiseksi tarvitaan erilaisia laitteistoja, kuten pienpuuaineksen esikäsitteilylaitteisto, hiiltämiseen sopiva jatkuvatoiminen retortti ja jälkikäsitteilylaitteisto, esim. hiilen aktivointilaitte.

Hankkeessa suunniteltu pilotointiympäristö vastaa bioraaka-aineiden hyödyntämistarpeeseen, ja näin varmistetaan, että BioSammon käyttöä pystytään kehittämään biotalouden tutkimusympäristönä. Tavoitteen toteutuessa lisätään paikallista osaamista ja vahvistetaan laajempaa kokonaisuutta Kymenlaakson alueen kestävä kehityksen, kiertotalouden ja elinkeinoelämän kehittämisessä.

Eri prosesseissa syntyvän hienojakoisen puuaineksen arvoa halutaan kasvattaa, joten prosessin kehittämiseksi biohiilen tuotantoon on selkeä tarve. Tähän tarpeeseen vastaa hitaan pyrolyysin jatkuvatoimisen prosessin kehittäminen esim. puunjalostusteollisuuden sivuvirtojen jalostamiseksi. Rahoituksen avulla voidaan tehdä suunnittelutyöt laitoksen tekniselle toteutukselle.

Kuvassa 1 esitetään kehitteillä olevan hitaan pyrolyysin prosessin pelkistetty tekninen toteutus ja mittakaava. Laitteiston kokonaiskorkeus on noin 2,5 metriä ja leveys hieman alle metrin. Laitteisto on erityisesti suunniteltu toimimaan hienojakoisen puuaineksen kuivaustaloustoiminnassa. Laitteella on mahdollista prosessoida myös haketta, jonka palakoko on alle 25 mm.



KUVA 1. Hitaan pyrolyysin prosessilaitte, tekninen toteutus ja mittakaava (kuva Kalle Tarhonen).

Pyrolyysiprosessissa syntyvien kondensoituvien kaasujen jatkojalostus ja käyttökohteiden löytyminen ovat merkittävimpiä tutkimuskohteita kannattavuuden saavuttamisessa, mikäli laitostulo tulee teolliseen mittakaavaan. Pyrolyysinesteiden jakaumasta on saatavissa kaksi erilaista kaupallista lopputuotetta: etikkahapot ja pyrolyysiöljy. Etikkahappojen käyttöä maanviljelyssä on tutkittu paljon, ja kondensoituvista kaasuista kolmasosa on etikkahapon ja veden seosta. Pyrolyysiöljyn jatkojalostamista polttoainekäyttöön on tarkoitus selvittää olemassa olevien menetelmien avulla. Hankkeessa tehdään myös puupohjaisten polttoaineiden tutkimuksen toimintaympäristön suunnittelu (nestemäisten biopolttoaineiden testiympäristön ja tutkimusalustan luomiseksi).

TUTKIMUS- VAI ENERGIAANTUOTANTOYKSIKKÖ: VAIHTOEHTOJEN SELVITYS

Hankkeessa selvitetään eri laitteistovaihtoehtoja, joilla voidaan suorittaa testimittauksia bio- ja kiertotalouspolttoaineilla ja edistää kehitys- ja tutkimustyötä. Biomassan fysikaaliset ja kemialliset ominaisuudet vaikuttavat suuresti biomassan hyödyntämiseen (polttoaineen syöttö, polttosysteemi, kiinteät ja kaasumaiset päästöt). Lisäksi biomassan ominaisuudet voivat vaihdella suuresti; esimerkkinä kosteus, joka voi vaihdella välillä 25–60 m% (esim. kuori, sahan sivutuotteet) tai olla jopa alle 10 m% (esim. pelletit) (Van Loo & Koppejan 2008, 38). Tärkeimpiä erottavia ominaisuuksia fossiilisista polttoaineista ovat epäorgaaninen ja orgaaninen osuus, energiasisältö sekä fysikaaliset ominaisuudet (Saidur, ym. 2011, 2287). Erityisesti kemiallisten aineiden erilaiset pitoisuudet voivat aiheuttaa ongelmia biomassan polttoprosessissa, ja ne olisivatkin syytä tuntea ongelmien ratkaisemiseksi. Esimerkiksi korkeat kalium- ja klooripitoisuudet voivat aiheuttaa likaantumisen- ja korroosio-ongelmia (Hupa ym. 2017, 131).

Biomassaa voidaan muuntaa termokemiallisella konversiolla lämmöksi, sähköksi ja/tai polttoaineeksi joko polttamalla, kaasuttamalla tai pyrolyysiprosessilla. Biomassan kaasutukseen on olemassa lukuisia vaihtoehtoja, kuten kiinteä peti (ylävirta, alavirta) tai leijupeti (kupliva tai kiertoleiju) (Sansaniwal ym. 2017, 366). Vaihtoehtoiset tekniikat polton tutkimukseen voisivat olla esim. (McGowan ym. 2009, 79, Van Loo & Koppejan 2008, 154–155):

- Leijukerros poltto: korkea palamishyötysuhde, alhaiset päästöt, voidaan polttaa korkean kosteuden omaavia polttoaineita, korkeat investointikustannukset sekä korkeat käyttökustannukset, pedin agglomeraatio mahdollista
- Arinapoltto: etenkin liikkuva tai vinoarinapoltto on usein käytetty, kestävä, voidaan käyttää eri kosteuspitoisuuden omaavia polttoaineita, eri palakokoja, tasaisesta polttoaineensyötöstä huolehdittava
- Pölypoltto: vaaditaan pieni partikkelikoko eli esikäsitteily polttoaineelle sekä alhainen kosteuspitoisuus (alle 20 m%), korkea hyötysuhde, mahdollisuus nopeaan kuorman vaihteluun, NO_x-hallinta mahdollista ilmajaolla.

Eri vaihtoehtoja vertailtaessa tulee ottaa huomioon mm. testilaitteiston kokoluokka, käytettävyys, mahdollisuus monipuoliseen polttoainevalikoimaan sekä investointi- ja käyttökustannukset. Polton tutkimuksessa pieninä pilot-reaktoreina voidaan pitää teholtaan 10–100 kW:n laitteita, ja suuremmat pilot-laitteet voivat olla teholtaan 0,5–10 MW. Pienemmät laitteet ovat nopeampia ja edullisempia käyttää, mutta tulokset voivat vääristyä joiltakin osin kokoluokasta johtuen. Pilot-kokoluokan laitteissa on yleensä jatkuva polttoaineensyöttö, ja olosuhteet muistuttavat suurempien kattiloiden olosuhdeprofileita eli ilmansyöttö ja ilmakertoimet vastaavat todellista. Suurempi pilot-kokoluokka mahdollistaa polttoaineen polttamisen sen luonnollisessa kosteudessa ja palakoossa, ja myös todellinen määrä polttoainetuhkaa syntyy. Lisäksi tässä kokoluokassa voidaan käyttää tavallisia savukaasun puhdistusjärjestelmiä (kuten letku- ja sähkösuotimet), jolloin on myös mahdollista tutkia todellisia hiukkas- ja myrkkypäästöjä eri olosuhteissa. (Aho & Saastamoinen 2002, 625–643)

Alueella on aiemmin tehty selvitys puupohjaisen polttoaineen käytöstä ensisijaisesti lämmöntuotantoon. Vertailussa keskityttiin arinapoltoon ja kaasutukseen. Selvitysten taustalla on alueen yritysten investointitarve energiantuotantoon, ja tässä yhteydessä on mahdollisuus myös yhteistyöhön Xamkin tutkimustoiminnan kanssa. Toisaalta, jotta tutkimusta voidaan tehdä eri variaatioin, mahdollisimman suuren tuotetun energiamäärän (kustannustehokkuus) ei pitäisi olla primäärinen tavoite. Tätä varten tulee harkita yksikköä, jossa pääasiallinen tarkoitus on tutkimuksellinen (ja opetuskäyttö), jolloin sijoituspaikkakin on BioSampo. Tutkimuskohteiden valinnassa huomioidaan myös muut alueen yritysten tarpeet. Jos esille nousee esim. sellutehtaan tarpeet, voi meesauuni olla yksi vaihtoehto.

Arinapoltto soveltuu yleensä yhdelle polttoaineelle, ja se on varmatoimista ja tunnettua polttotekniikkaa mutta herkkä polttoaineen laadulle. Tekniikka soveltuu myös A- ja B-luokitellulle puulle. Jätteenpolttolaitoksen hinta-arviot ovat noin kolminkertaiset verrattuna

normaaliin biopolttoainelaitokseen. Jätteenpolton kustannukset syntyvät suurimmaksi osaksi savukaasujen puhdistuksesta ja mittauksista, jotka ovat suhteellisen korkeat. Myös savukaasujen koostumus riippuu paljon poltettavasta aineesta ja asettaa tällöin suuremmat vaatimukset kaikille materiaaleille, jotka ovat kosketuksissa materiaalin ja savukaasujen kanssa. Kaasutustekniikka on myös tunnettua tekniikkaa, ja sen käyttömahdollisuudet ovat hyvät, koska kaasutukseen voidaan käyttää useampaa eri ainetta, eli se mahdollistaa laajan biopohjaisen polttoainevalikoiman. Kaasutuspolton toimivuuden kannalta on tärkeää, että poltettavista aineista tehdään seos. Säädettyvyys ei olisi ongelma edes kesäkäytössä, jolloin tehontarve on pieni. Kaasutuksessa poltto tapahtuu esim. etupesäpolttimella.

Biomassan polton tutkimuksessa on viime aikoina noussut esiin alueita, joissa lisää tutkimusta tarvittaisiin. Useat näistä liittyvät useiden erilaisten biomassojen yhtäaikaiseen poltoon, kuten pedin sintraantuminen yhteispoltossa ja tuhkan vuorovaikutus yhteispoltossa. Myös biomassan ominaisuuksista johtuvien ongelmien, esim. likaantumisen, kuonaantumisen, agglomeraation ja korroosion, osalta tarvitaan vielä lisää tutkimusta. (Hupa ym. 2017, 129–131, Saidur ym. 2011, 2287) Biomassan sisältäessä suuremman vaihtelevuuden epäorgaanista materiaalia verrattuna hiileen (etenkin joidenkin maatalouden jäännöksiä osalta) likaantumista ja korroosiota tulisi tutkia lisää (Saidur ym. 2011, 2283). Vastaavasti biomassan kaasutuksessa tutkimuskohteina voisivat olla esim. Sansaniwalin ym. (2017, 381) mukaan lämmöntalteenoton yhdistäminen, parannetut tervan krakkausmenetelmät, biohiilen uusiokäyttö syötteenä, tuhkan ja tervan sisällön muuttaminen tuotteiksi, joilla on jalostusarvoa, höyrykaasutus vedyn tuottamiseksi tai syötteen esikäsittelyn kehittäminen.

FTIR-MONIKAASUANALYSAATTORIN MAHDOLLISUUDET MITTAUKSISSA

Hankkeessa kehitetään bioraaka-aineiden ja polttotekniikan tutkimusta myös FTIR-monikaasuanalysointilaitteilla tehtävien pilotointien kautta. Samalla vahvistetaan Xamkin Ky-miLabs-tutkimusyksikön toimintaa, jossa on jo erityisosaamista kaasumaisten päästöjen mittausten alalla. Tutkimusyksikössä on tehty kaupallisia ja hankemittauksia vuodesta 1992 alkaen. FINAS-akkreditointipalvelu on myöntänyt päästömittaustoimintaan akkreditoinnin, joka perustuu SFS-EN ISO/IEC 17025 -standardiin (testauslaboratorio T197). Päästömittauspalvelut tarjoavat savukaasumittauksia voimalaitoksille, prosessiteollisuudelle ja varustamoille (prosessiteollisuuden poistokaasut sekä laivojen ja voimalaitosten diesel- ja kaasumootoreiden pakokaasut). FINAS-pätevyyteen kuuluvat NO_x -, CO -, CO_2 -, O_2 - ja SO_2 -pitoisuuden mittaaminen jatkuvatoimisella analyysointilaitteilla ja päästön määrittäminen, hiukkaspitoisuus ja hiukkaspäästö sekä ammoniakkinäytteenotto ja pitoisuuden määrittäminen. Kuvassa 2 esitetään tyyppillinen päästömittauspalveluiden mittauskohde.



KUVA 2. Päästömittausspalveluiden mittauskohde (kuva Mikko Nykänen).

FTIR-analysaattorilla on mahdollista mitata useiden kaasujen pitoisuuksia yhtä aikaa (jopa yli 30 yhdistettä) sekä selvittää tuntemattomia komponentteja. Analysaattoriin on myös mahdollista lisätä yhdisteitä mitattavien kaasujen luetteloon suhteellisen yksinkertaisella menettelyllä, eikä uutta laitetta tarvitse erikseen hankkia, joten laitteen käyttöä voidaan tulevaisuudessa laajentaa. Analysaattoria voidaan hyödyntää tutkimustyössä, esimerkkeinä polttotekniikan tutkimukset, moottoritutkimukset, katalysaattorit, jätelietteen tutkimukset sekä pyrolyysikaasujen analysointi.

FTIR-analysaattorin toiminta perustuu siihen, että lähes kaikki kaasut absorboivat infrapunavaloa kullekin kaasulle ominaisilla aallonpituuksilla eli eri aineilla ei ole täysin samanlaista infrapunaspektriä. Poikkeuksia ovat jalokaasut ja kaksiatomiset samanytimiset kaasut (esim. O_2 , N_2), joilla ei ole IR-spektriä. Siten kaasuseoksesta, jonka komponenttien pitoisuuksia ei tunneta, voidaan tunnistaa seoksen sisältämät eri kaasuyhdisteet ja laskea

pitoisuudet, kun tunnetaan seoksen sisältämien puhtaiden kaasujen spektrit. FTIR on dispersiivinen analysaattori, jossa analysoidaan laaja aallonpituuskaista ja joka mittaa kaikki IR-aallonpituudet samanaikaisesti. Vertailukohtana on ei-dispersiivinen analysaattori, jossa saadaan informaatiota vain spektrin tietyistä osista käyttämällä optista suodatinta, ja laitteet ovat yleensä yksikomponenttianalysointilaitteita. FTIR-mittauksen tuloksena syntyy siis spektri, josta voidaan määrittää kvalitatiivisesti näytekaasussa esiintyvät komponentit. Absorptioviivoja apuna käyttäen tehdään kvantitatiivinen analyysi. (VTI 2007, 28–29, VTI 2004, 14–15)

Tyypillisiä käyttökohteita analysointilaitteille ovat voimalaitokset, sillä laitteella on mahdollista mitata kuumia ja kosteita kaasuja. Jätteenpoltossa sekä sekapolttossa mitattaviin päästöihin kuuluvat myös esimerkiksi erilaiset klooriyhdisteet sekä raskasmetallit ja metsäteollisuudessa haisevat rikkiyhdisteet. FTIR-analysointilaitetta on myös mahdollista käyttää esim. voimalaitosten ja jätteenpolttolaitosten QAL2 (kiinteästi asennetun mittalaitteen kalibrointi ja validointi) -vertailumittauksien tekemiseen. Muita mittauskohteita voisivat olla esimerkiksi kemianteollisuuden ja metsäteollisuuden prosessikaasut, joista täytyy selvittää erilaisten yhdisteiden pitoisuuksia tai mitä yhdisteitä kaasut sisältävät. FTIR-analysointilaitteen käyttö on tarkoitus aloittaa tekemällä vertailumittauksia nykyisten analysointilaitteiden kanssa.

YHTEENVETO

Kymenlaakso alueena tarvitsee julkisten toimijoiden bio- ja kiertotalouden pilotointiympäristöjä, jotta alueella voidaan toteuttaa niin kansallisia kuin alueellisiakin strategioita (Suomen biotalousstrategia, Kymenlaakson älykkään erikoistumisen RIS3-strategia, Kotkan ja Kouvolan kaupunkien strategiat). Ammattikorkeakoulu onkin merkittävässä roolissa, jotta pilot-infrastruktuuria voidaan kehittää ja tukea erikokoisten yritysten tarpeita.

BioPILOTTI-hankkeen myötä saadaan Xamkin Kymenlaakson TKI-yksiköiden mahdollisuuksia laajennettua erityisesti erilaisten sivuvirtojen hyödyntämiseen ja niiden poltto-tekniikoiden sekä kaasujen mittaukseen liittyen. Lisäksi saadaan vahvistettua BioSammon toimintaedellytyksiä bio- ja kiertotalouden toimintaympäristönä kansallisella tasolla.

LÄHTEET

Aho, M. & Saastamoinen, J. 2002. Luku 22. Laboratoriomittakaavan palamisen tutkimuksen laitteet ja menetelmät. Teoksessa Raiko, R., Kurki-Suonio, I., Saastamoinen, J. & Hupa, M. (toim.) Poltto ja palaminen. Jyväskylä. International Flame Research Foundation. Suomen kansallinen osasto. 625–644.

Hupa, M., Karlström, O. & Vainio, E. 2017. Biomass combustion technology development –It is all about chemical details. *Proceedings of the Combustion Institute* 36, 113–134.

McGowan, T.F., Brown, M.L., Bulpitt, W.S., & Walsh, J.L.. 2009. Biomass and alternate fuel systems, An engineering and economic guide. New Jersey, USA: John Wiley & Sons, Inc., 79–81.

Saidur, R., Abdelaziz, E.A., Demirbas, A., Hossain, M.S. & Mekhilefc, S. 2011. A review on biomass as a fuel for boilers. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 15, 2262–2289.

Sansaniwal, S.K., Pal, K., Rosen, M.A. & Tyagi, S.K. 2017. Recent advances in the development of biomass gasification technology: A comprehensive review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 72, 363–384.

Van Loo, S. & Koppejan, J. 2008. *The handbook of biomass combustion and co-firing*. New York, USA: Earthscan, p. 38–50, 154–155.

VTT. 2004. Päästömittausten käsikirja osa 3. Laitetoimittajien näkemys päästömittauslaitteiden laadunvarmistamisesta. 14–19.

VTT. 2007. Päästömittausten käsikirja osa 1. Päästömittaustekniikan perusteet. 28–29, Liite 5.

BIOHIILI KASVUALUSTASSA

Kirsi Tallinen & Juha Solio & Maunu Kuosa & Ville Rätty

Biohiilellä on tehokkaampi veden- ja ravinteidenpidätyskyky sekä hitaampi hajoamisprosessi kuin tavanomaisella kasvualustalla. Suomessa biohiilen käyttö maanparannusaineena on vielä vähäistä. Biohiileen liittyvää tutkimusta on olemassa, mutta vielä nähdään olevan tarvetta käytännönläheiselle pilot-tutkimukselle. Tähän liittyen Kymenlaaksossa haettiin uutta käyttötarkoitusta puulle yhteistyössä paikallisten toimijoiden kanssa.

Kesän 2018 aikana toteutettiin golfkentän kasvualustan pilotointi. Tutkimus tehtiin BioSammossa, Xamkin yhteydessä toimivassa kiertotalouden tutkimus- ja koulutusyksikössä, Anjalassa. Pilotointia varten valmistettiin neljä kasvualustaa, joissa biohiilen osuus maa-aineksessa vaihteli. Biohiilen runsaampi määrä kasvualustassa vaikutti tasoittavan kosteuseroja seurantajaksolla ja parantavan ruohon kasvua. Tämä pilotointi on osa Kymenlaakson biotaloustoimintaympäristön kehittäminen – KYMBIO -hanketta, jossa päärahoitus tulee Uudenmaan liitolta Euroopan aluekehitysrahastosta (EAKR).

JOHDANTO

Biohiiltä valmistetaan biomassasta esimerkiksi puusta. Valmistusmenetelmää kutsutaan pyrolyysiksi, jossa biomassan eloperäiset ainesosat hajotetaan vähähappisessa tilassa, 350–1 000 °C:n lämpötilassa (Myllylä 2017). Huokoisen biohiilen käytön etuina oletetaan olevan maanparannuskäytössä mm. parempi ravinteiden säilyminen (vähemmän ravinteita valumavesiin, vähemmän lannoitetarvetta) ja kosteuden tai kuivuuden aikana maaperän pysyminen hyvässä kunnossa (kosteuden säätelyt). (Kolehmainen 2017)

Biohiileen liittyvää tutkimusta on tehty, mutta kuitenkin vielä nähdään olevan tarvetta käytännönläheiselle pilot-tutkimukselle, jossa paikallisilla asiasta kiinnostuneilla toimijoilla on mahdollisuus päästä tutustumaan pilotointien aikana biohiilen käyttäytymiseen maaperässä. Tukholmassa biohiilen käyttöä puistorakentamisessa on tehty jo pitkään, ja Suomessakin on jo kokeilualustoja mm. Espoossa ja Jyväskylässä (Myllylä 2017).

Kymenlaaksossa on olemassa useita kohteita, joissa hiiltä voitaisiin hyödyntää, sekä tuotantoon liittyvää yritys- ja tutkimustoimintaa. Tältä pohjalta pilotoinnin suorittaminen nähtiin järkevänä ja biotalouden kehittymistä tukevana toimintana. Toimijoina nähtiin mm. golfkentät ja kaupungit (käyttäjät), Carbons Finland Oy (ent. Pajupojat, biohiilen myynti ja markkinointi), Raussi-Yhtymä (siirrettävä puuaineksen pyrolyysilaitos) sekä Kymenlaakson Jäte Oy (etsii käyttökohteita puutarhajätteelle, mm. risut ja oksat). Xam-

kin tutkimusyksikössä BioSammossa on painopistealueena puupohjaisten aineiden hitaan pyrolyysin kehittäminen jatkuvatoimisena prosessina (hiilen tuottaminen) ja hiilen jatkokäsittelymenetelmien sekä käyttökohteiden selvittäminen.

PILOTOINNIN TOTEUTUKSEN LÄHTÖKOHDAT

Syksyllä 2017 KYMBIO-hankkeen osana mietittiin niin puupohjaisen ylijäämäaineksen käyttöä lisääviä kuin sivuvirtojen kiertoon liittyviä kokeiluja mahdollistavia ratkaisuja, ja tuolloin nostettiin esille golfkenttien yrittäjät potentiaalisina biohiilen käyttäjinä kasvualustoissaan. Golfkentillä viheralueiden kunnossa pysyminen on hyvin tärkeää, ja alueiden tulee kestää myös käyttöä. Erityisesti viheralueiden kuivien ja liian kosteiden aikojen ongelmiin oletetaan biohiilen tuovan parannusta. Kosteina aikoina viheralueiden pinta voi helposti rikkoutua ja maa muuttua veteläksi/pehmeäksi. Kuivina aikoina taas viheralueet saattavat kellastua ja kuihtua ilman kastelua. Nurmen kuntoon vaikuttaa jatkuvien hoitotoimenpiteiden lisäksi maaperä ja kasvualusta. Biohiilen avulla uskotaan olevan mahdollista tasoittaa kosteuseroja, ja sitä kautta voidaan vaikuttaa alueiden pysymiseen paremmassa kunnossa: kosteina aikoina biohiili voi varastoida liiallista kosteutta ja luovuttaa sitä hitaasti kuivaan aikaan.

Vuoden 2018 aikana päätettiin toteuttaa pilotointi, jossa hankittaisiin kokemuksia biohiilen käytöstä kasvualustassa esiin nousseiden tarpeiden ja mahdollisuuksien ohjaamana. Havaittuja tietoja biohiilen käyttäytymisestä maanparannusaineena voitaisiin myöhemmin hyödyntää laajasti eri kohteissa. Kokeilua varten otettiin helmikuussa 2018 yhteyttä Kymenlaakson golfkenttiin, joista etsittiin yhtä kumppania toteutukseen. Nopeasti kumppani löytyikin: Kymen Golf Kotkasta.

Pilotoinnin ensisijainen tavoite oli selvittää biohiilen vaikutusta maaperään, erityisesti kosteuteen. Biohiilen oletetaan tasaavan kosteuseroja kuivien ja kosteiden kausien välillä (Myllylä 2017). Pilotoinnissa päätettiin ensisijaisesti seurata hiilipitoisuuden merkitystä maaperän kosteusominaisuuksiin (kosteusmittaukset) sekä biohiilen mahdollista kasvua edistävää vaikutusta (silmämääräinen arvio kasvusta ja juuristosta). Jotta hiilen merkityksestä ravinteiden sidonnassa saataisiin alustavaa tietoa, päätettiin myös kasvukauden lopulla ottaa kaikista kasvualustoista vesinäytteet. Kasvualustoissa toteutetun pilotoinnin rinnalla aloitettiin myös pyrolyysinesteiden vaikutuksen testaus nurmen kasvuun luonnolosuhteissa.

KASVUALUSTOJEN VALMISTUS

Kasvulaatikot tehtiin neljästä Kymenlaakson Jäte Oy:n toimittamasta n. 1 m³:n kontista (leveys 95 cm, syvyys 115 cm, korkeus 100 cm, pohja-ala 1,09 m²), joiden reunat leikattiin noin 40 cm:n korkuisiksi. Kaikissa astioissa pohjissa olivat venttiilit, joiden kautta oli mah-

dollista laskea vettä läpi. Kasvualustojen valmistus, johon kuuluivat tarvittavien työkalujen, maa-aineksen ja nurmen hankinta sekä astioiden ja kasvukerrostien teko, toteutui huhti-kuussa 2018. Valmiisiin alustoihin rajattiin hoidettava alue (kuva 1). Koealustat sijoitettiin Xamkin BioSampoon Kouvolan Anjalaan.

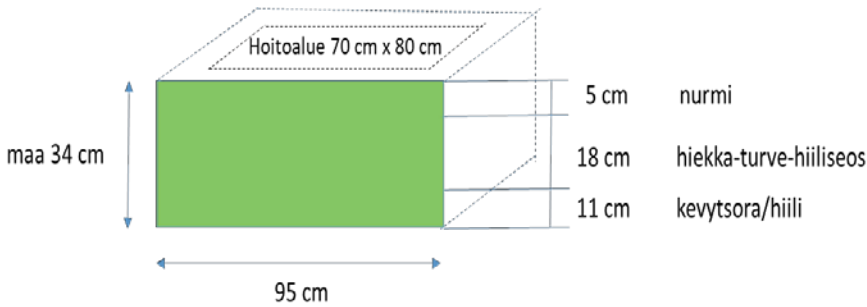


KUVA 1. Alustat muokattiin kemikaalikonsteista. Maa-aines lapioitiin alustoihin järjestyksessään kauimmainen 0, sitten 1, 2, ja lähin alusta 3, jossa alimpana kerroksena biohiilipohja. Valmiisiin astioihin rajattiin hoidettava alue (kuva Kirsi Tallinen).

Kasvualustoja valmistettiin neljä, seuraavasti:

1. verrokki, jossa nyky rakenne
2. pilotti, jossa osa maa-aineksesta (5 %) korvattu biohiilellä (sekoitettuna muuhun maaperään pinta-aineen alla)
3. pilotti, jossa osa maa-aineksesta (10 %) korvattu biohiilellä
4. pilotti, jossa osa maa-aineksesta (5 %) ja kevytsora korvattu biohiilellä.

Kasvualusta koostuu kivennäisaineksesta ja eloperäisestä aineksesta, joista kivennäisaines toimii mm. tukirakenteena ja eloperäinen aines parantaa mm. kasvualustan vedenpidätyskykyä ja huokoisuutta (Myllylä 2017). Pilotoinnissa käytettiin golfkentälle tyypillisiä maa-ainekerrostomia ja pinta-ainesta, ja kerrokset tehtiin Kymen Golfin kenttämestari Kimmo Korttilan ohjeiden mukaan. Kasvualustan kerrokset ylhäältä alaspäin olivat seuraavat (kuva 2): pintanurmi, hiekka-turve-hiiliseos ja kevytsora/hiili pohjalla. Pilotoinnissa haluttiin tasalaatuista hiiltä, ja siksi hiileksi valittiin kaupallinen kuusipohjainen tuote, joka on pyrolysoitu n. 600 °C:n lämpötilassa ja seulottua.



KUVA 2. Kasvualustan rakenne (kuva Kirsi Tallinen).

SEURANTAMITTAUKSET JA HOITOTOIMENPITEET

Maankosteutta ja nurmen kasvua seurattiin säännöllisesti. Kosteutta mitattiin maa-ainekerrostuman pohjalta tensiometrillä sekä pinnasta maa-aineksen kosteuteen, valoisuuden ja pH-pitoisuuteen tarkoitetulla mittarilla. Mittausjaksoksi valittiin kesä-, heinä- ja elokuu kesällä 2018. Ennen mittauksen aloittamista laadittiin raportointipohja mittauksia varten. Mittauksin seurattiin erityisesti sademäärää ja alustojen kosteuspitoisuuksia. Ilman lämpötila ja säätila merkittiin muutosten osalta; merkittävintä oli, että kaikkia kasvualustoja hoidettiin samoin tavoin.

Hoitotoimenpiteet ja kirjaukset tehtiin seuraavasti:

- Silmämääräinen tarkastelu, alustat (0,1,2,3)
- Alustojen valokuvaus ennen nurmen leikkausta
- Sadevesimittarin lukema kirjattiin ylös
- Kasvualustakohtaisten kosteusmittarien lukemat kirjattiin ylös
- Säännöllinen kastelu, kuivien olosuhteiden aikana useammin
- Nurmien leikkaus tehtiin tarpeen mukaan, kuitenkin vähintään kerran viikossa.

Kastelun tai sateen intensiteetti vaikuttaa veden imeytymiseen ja läpivalumiseen. Esimerkiksi 10 minuuttia kestävä sade (160 l/s/ha) tarkoittaisi 9,6 litran kastelumäärää neliölle jaettuna 10 minuutin kestolle. Todellisessa kohteessa valunta ja valuntakertoimet vaikuttavat imeytyvän veden määrään. (Ilmatieteenlaitos)

Pilotoinnissa kastelua tehtiin luonnonsateiden lisäksi kuivina aikoina hoitoaluetta ja reunoja kastellen, mainitussa järjestyksessä, noin 3 litraa ja 2 litraa, käsin kastelukannulla. Hellepäivinä kastelu suoritettiin pääasiallisesti kaksi kertaa. Astioista seurattiin hoitokertojen aikana kosteuden vaihtelua, ja näillä mittauksilla haettiin vain eroja kasvualustoissa, eikä absoluuttisilla arvoilla ollut tässä testauksessa merkitystä.

Nurmi leikattiin noin 1–2 kertaa viikossa akkukäyttöisellä käsileikkurilla sekä käsisaksin, kasvualustojen keskellä olevat hoitoalueet tarkemmin kuin reunat.

Biohiilen golfkentän pilotoinnissa käytettiin lomakkeita, joista lomakkeeseen A kirjattiin silmämääräisiä huomioita alustoista 0, 1, 2 ja 3 päivämäärittäin, ja lomakkeeseen B koottiin dataa: sademittarin lukema (mm), kosteusmittarin lukema (-mbar/hPa), pintakosteus (0–10), nurmi leikattu (X) sekä sumutettu ja kasteltu (litraa).

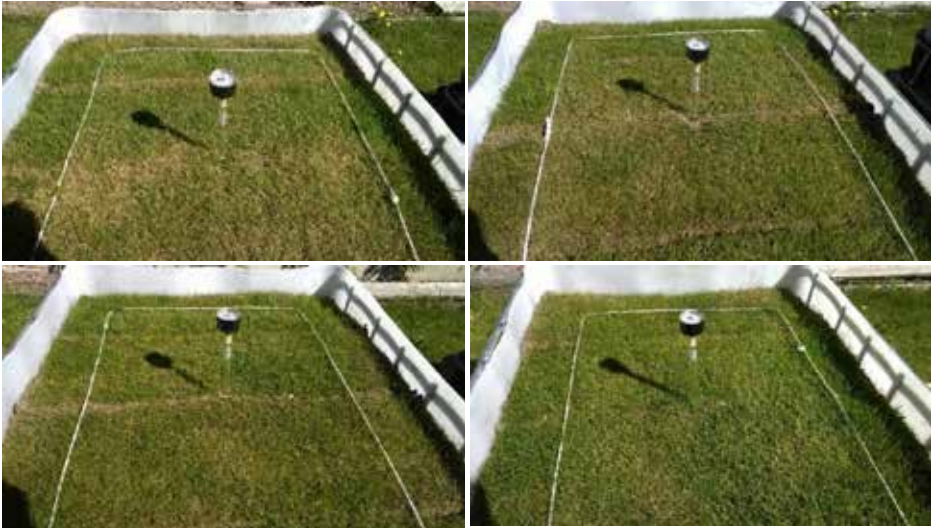
Testijakson jälkeen otettiin näytteet kasvualustojen läpi valuneesta vedestä, joista teetettiin laboratorioanalyysit. Näin saatiin tietoa ravinteiden huuhtoutumisesta kasvualustan läpi.

HAVAINTOJA

Yleisesti: kesän säiden vaihtelut, kasvualustojen rakenne ja hoitotoimet vaikuttivat selvästi siihen, miten kasvu eteni eri alustoissa. Kevään ja alkukesän säät olivat lämpimiä, kuivia ja vähäsateisia, mutta kesäkuussa ilma oli viileämpi, kunnes kuun lopussa helle jatkui. Heinäkuun ensimmäisellä viikolla oli sateita, mutta kuukauden puolivälissä alkoi hellejakso, joka kesti elokuun alkuvaiheille, jolloin lämpötilat olivat lähempänä 30 °C:ta. Elokuun loppuun tultaessa alustojen kasvuerot olivat tasoittuneet ja kaikki nurmikot olivat lähes samanlaisia. Selkeä huomio oli, että nurmilajikkeista kuivassa paremmin pärjäävä punanata valtasi alaa alustoissa 0–2, ja kosteudessa viihtyvä niittyurmikka oli hallitsevin alustassa 3.

Kosteusmittausten tulokset eivät vaikuttaneet luotettavilta, sillä kuivasta huolimatta mittarit näyttivät jatkuvaa maaperän suurta kosteuspitoisuutta, vaikka nurmet kellastuivat. Toisaalta kovien sateiden jälkeen arvoissa ei juuri ollut muutosta. Mitatuilla kosteuspitoisuuksilla ei myöskään juuri ollut eroja kasvualustojen kesken, vaikka silmämääräisiä eroja kasvussa oli havaittavissa.

Toukokuussa alustojen kosteus oli ensin kaikissa samalla tasolla. Ruohot alkoivat kasvaa: alusta 3 kasvoi parhaiten ja 1 huonoiten (kuva 3). Kuivasta kaudesta johtuen ruoho oli kellastunutta ja osittain palanutta. Kesäkuussa kuivuuden jatkuessa vain alustan 3 kasvu oli hyvää, ja seuraavaksi parhaiten oli säilynyt alustan 2 nurmi. Alustan 3 nurmi käsin kosketeltuna oli selvästi vahvempaa kuin muut ja kasvu tehokkainta. Ilman lämmitessä vauriot olivat pahimmat alustoissa 0, 1, ja 2.



KUVA 3. Yläkuvat vas. 0, oik. 1. Alakuvat vas. 2, oik. 3. Eroja kasvussa ja värissä näkyvissä (kuva Kirsi Tallinen).

Heinäkuussa oli aurinkoista, jolloin alustat 0 ja 1 olivat osittain kellertäviä ja alustat 2–3 vihreämpiä. Heinäkuun alkupäivinä satoi, mutta kuun puolenvälin jälkeen oli hellettä monta viikkoa. Ukkossateen jälkeen alustat 0, 1 ja 2 tiputtivat vettä avoimesta pohjacenttiilistä, mutta alusta 3 ei. Kastelua lisättiin merkittävästi (5 l/kerta, kahdesti päivässä), ja loppukuusta kaikki alustat olivat hyvässä kunnossa. Elokuussa helteen jatkuessa alustat pysyivät kosteina yökasteen vuoksi. Lannoitus suoritettiin vasta elokuussa, kun pahimmat helteet ja kuivuus olivat ohi: nurmikkokalkkia laitettiin 20. elokuuta 50 g/alusta, kevätlannoitetta laitettiin 28. elokuuta 30 g/alusta. Kun yöllä oli kova sade, vettä valui astioista, mutta edelleen vähiten alustasta 3. Syys-lokakuussa oli märkää, ja pohjacenttiilit suljettiin, jolloin vettä alkoi kertyä kasvuastioihin. Kun vettä laskettiin pohjacenttiilistä ulos, kertyi vettä alustoista 0 ja 1 nopeasti ja alustoista 2 ja 3 hitaammin, tuntien viiveellä.

Lokakuussa otettiin reikäporalla näytteet nurmista, jotta nähtiin, onko juurissa kasvueroja. Silmämääräisesti kaikki juuret olivat kasvaneet hyvin kuitenkin niin, että enemmän hiiltä sisältäneiden alustojen juuristo oli käsin kokeillen tuuheampi. Alustan 2 (hiiltä 10 %) juuristo oli selvästi muita pidempi (kuva 4). Merkittävimpinä erona oli se, että hiilialustaan juuret eivät olleet menneet, kun muilla juuria oli pohjamateriaalina käytetyn kevytsoran seassakin.



KUVA 4. Juuristo, näytteet alustoista järjestyksessä vas. 0, 1, 2, ja 3 (kuva Ville Rätty).

TULOKSET VESINÄYTTEISTÄ

Vesinäytteistä analysoitiin mm. kiintoainetta, hapenkulutusta, pH-pitoisuutta, sähköjohtokykyä ja typen sekä fosforin määriä. Tavoitteena oli havainnoida sellaisia eroja kasvualustoissa, joiden perusteena saattaisi olla kasvualustaan lisätty hiili. Näytteet otettiin valuvasta vedestä astioiden 0 ja 1 osalta ja seisoneesta vedestä alustoista 2 ja 3, mikä selitti erot kiintoaineen osalta: pitoisuudet olivat selvästi pienempiä alustojen 2 ja 3 näytteissä.

Merkittävin vaikutus havainnoitiin kokonaisfosforipitoisuudessa, joka eniten hiiltä sisältäneessä alustassa (alusta 3) oli liki kymmenkertainen muihin verrattuna. Samoin ko. alustassa oli muita korkeampi pH (muissa 7,4...7,5, alustassa kolme 8,4). Muiden analyysitulosten erot olivat pieniä, tai muutokset eivät olleet johdonmukaisia hiilipitoisuuteen verrattuna.

YHTEENVETO

Kasvualustojen valmistus, hoito ja seuranta olivat haastavia. Poikkeukselliset sääolosuhteet (mm. pitkä, kuiva hellejakso) vaativat tasaista kastelua, jolloin kastelu pyrittiin suorittamaan ennen auringonnousua tai -laskun jälkeen. Laatikkoon tehtyjen nurmialustojen hoidon rinnalla tavoitteena oli seurata pyrolyysinesteiden vaikutusta luonnonnurmen kasvuun luonnonolosuhteissa, mutta alkujakson kuumuus ja kuivuus kellastuttivat kaiken nurmikon, eikä pyrolyysinesteen kasvua edistävää tai tuhoavaa vaikutusta voitu todeta.

Pilotointi antoi viitteitä siitä, että kasvualustojen rakenteen muutoksella voidaan vaikuttaa nurmen kasvuun. Kuivan kesän perusteella hiilipatja pohjakerroksena säilytti kosteutta paremmin, mikä paransi kasvua. Toisaalta myös kasvualustoihin sekoitettu hiili piti nurmet silmämääräisesti parempikuntoisina kuin ei-hiiltä sisältävä perusalusta. Epävarmuustekijöinä on kuitenkin mm. kasvulaatikko, joka ei kaikilta osin vastaa luonnollista kasvuympäristöä, jolloin ei voida olla varmoja, olisiko luonnonolosuhteissa sama vaikutus. Lisäselvityksiä tarvitaan selvittämään, miksi kokonaisfosforipitoisuus oli hiilipitoisimman alustan valumavedessä merkittävästi suurempi kuin muissa. Tätä selvitystä tehdään jo, mutta tulokset eivät ole vielä valmiit.

Toisaalta, koska juuret eivät menneet pohjana olleeseen hiilipatjaan, hiili voisi toimia myös salaojana, kun halutaan johtaa kosteina aikoina liiallinen vesi pois. Tämä hiilestä tehty ”salaojaputki” voisi sitoa kuivana aikana vettä ja toimia kasvua tukevana tekijänä ja kosteana aikana johdattaa liian veden pois ilman, että kasvusto tukkiin putken. Tämä vaatii kuitenkin tarkempia selvityksiä ja pilotointia mahdollisten hyötyjen selvittämiseksi.

LÄHTEET

Kolehmainen, I. 2017. Musta hiili puhdistaa. Mielipidekirjoitus 1.9.2017, biotalous-sivusto. WWW-dokumentti. Saatavissa: <http://www.biotalous.fi/musta-hiili-puhdistaa/>

Myllylä Hanna, Biohiili biopidätysalueessa ja kantavassa kasvualustassa, Ammattikorkeakoulututkinnon opinnäytetyö, Hämeen Ammattikorkeakoulu, 2017.

Ilmatieteenlaitos. Suomen sään kuukausitilastot. WWW-dokumentti. Saatavissa: <http://ilmatieteenlaitos.fi/kuukausitilastot>

ALUELÄMMITYSVERKON SUUNNITTELU JA MITOITUS

Teemu Karttaavi & Erja Tuliniemi & Maunu Kuosa & Hannu Sarvelainen

Aluelämmitys tarkoittaa rajoitetun alueen keskitettyä lämmittämistä, joka tapahtuu yhden lämpökeskuksen avulla eikä siihen liity liiketoimintaa. Toimintaperiaatteeltaan aluelämmitys on samanlaista kuin kaukolämmitys mutta pienimuotoisempaa. Tarpeenmukainen keskitetty lämmitys parantaa energiatehokkuutta ja säästää kasvihuonepäästöissä.

Tässä artikkelissa on esitetty erään todellisen kohteen aluelämmitysverkon suunnittelun ja mitoituksen vaiheet. Lähtökohtana oli tehdasalueen rakennusten höyrylämmityksen korvaaminen pienellä aluelämmitysverkolla. Kohteiden lämmitystehon tarpeiden mukaisesti mitoitettiin lämmitysverkko, tarvittavat venttiilit, pumput ja mittalaitteet, joita esitetään karttapiirroksena ja PI-kaaviona. Lämmitysverkon suunnittelun tuloksena on saatu kokonaishinta-arvio verkolle ja takaisinmaksuaika. Selvitys on toteutettu Resurssitehokkaat teolliset symbioosit- ja KymBio-hankkeissa, joissa päärahoittajana on Uudenmaan liitto Euroopan aluekehitysrahastosta.

SUOMI LÄMMITYKSEN KEHITTÄMISEN KÄRKIMAA

Tulevaisuudessa päästöjen vähentäminen on entistä merkittävämmässä roolissa, ja se on kustannustehokkaampaa keskitetyssä järjestelmässä kuin hajautetussa talokohtaisessa lämmityksessä (Energiateollisuus 2006, 26). Suomi on maailmanlaajuisesti sähkön ja lämmön yhteistuotannon edelläkävijä. Noin kolme neljäsosaa kaukolämmöstä tuotetaan yhteistuotannolla. Vastaavasti EU:n alueella yhteistuotanto kattaa hieman yli kymmenen prosenttia sähköntuotannosta. Lämmön ja sähkön yhteistuotanto mielletään EU:n laajuisesti yhdeksi merkittävimmistä keinoista vähentää kasvihuonepäästöjä. (Energiateollisuus 2018) Yhteistuotanto parantaa voimalaitoksen hyötysuhdetta 30 % verrattuna erillistuotantoon. Hiilidioksidipäästöjen vähennyksenä tämä on noin 350 kg/MWh (Energiateollisuus 2006, 27).

Kaukolämmitys on rakennusten ja käyttöveden lämmityksen keskitettyä lämmöntuotantoa, joka toteutetaan liiketoiminnan muodossa. Aluelämmitys on kaukolämpöön verrattuna pienempimuotoisempaa lämmöntuotantoa, johon ei sisälly myyntiä. Tuotanto- ja jakelutekniikka voi olla hyvin samanlaista alue- ja kaukolämmityksen välillä. (Energiateollisuus 2006, 25)

Alue- ja kaukolämmityksen jakeluverkko on merkittävä osa investointikustannuksia. Siksi kaukolämmitys on alkanut kaupunkien keskusta-alueista, missä lämpötehon tarpeen tiheys

maapinta-alaa kohti on suurimmillaan (johtopituutta vastaava teho suuri). Lämmitysverkon mitoitus perustuu rakennusten lämmöntarpeeseen, putkiston virtaamiin, painehäviöiden laskentaan ja pumpun tarvitsemaan tehoon. Kuvassa 1 esitetään yksinkertaistettuna mitoituksen vaiheet.



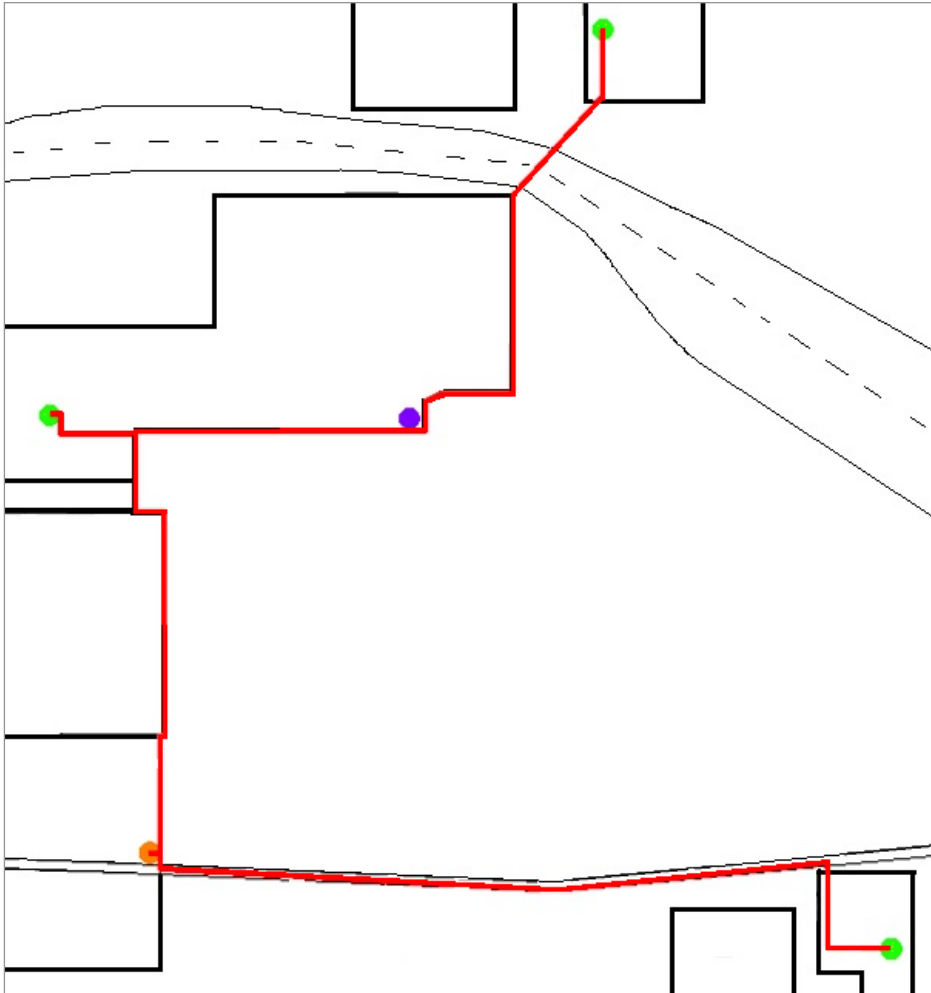
KUVA 1. Lämmitysverkon mitoituksen vaiheet (kuva Teemu Karttaavi).

LÄMMITYSVERKKO TEHDASALUEELLE

Xamk toteutti Resurssitehokkaat teolliset symbioosit- ja KymBio-hankkeissa tarkastelun aluelämmitysverkon suunnittelusta ja mitoituksesta tehdasalueelle. Tarkastelun lähtökohtana oli selvittää korvaava vaihtoehto nykyisen höyrylämmityksen tilalle, koska tehdas tarvitsee lämmitykseen käytettävän höyryn tuotantoprosessin käyttöön. Korvaava energianlähde on osittain hukkaenergiaa ja käyttömahdollisuuksiltaan vähemmän arvokasta.

Tarkastelu aloitettiin keräämällä lähtötiedot ja selvittämällä alueen rakennusten lämmitys-tarve. Lämmöntarve saatiin selville tutkimalla kohteen vanhoja höyrynvaihtimia ja aiemmin tehtyä energiaselvitystä. Mahdollisen putkiverkon topologia saatiin vierailemalla kohteessa ja valokuvien avulla. Putkikokojen mitoitus ja valinta perustuivat Energiateollisuuden las-kentaohjeisiin. Rakennusten lämmitystarpeen ollessa selvillä hahmoteltiin ja mitoitettiin alueen putkiverkosto painehäviöiden ja energiavirtojen pohjalta. Putkiston reitin valinnassa on otettava huomioon olemassa olevat kannatinrakenteet. Niitä hyödyntämällä säästetään merkittävästi kustannuksissa. Putkisiltojen tai muiden ylimääräisten tukirakenteiden rakentamista on syytä välttää, jos mahdollista.

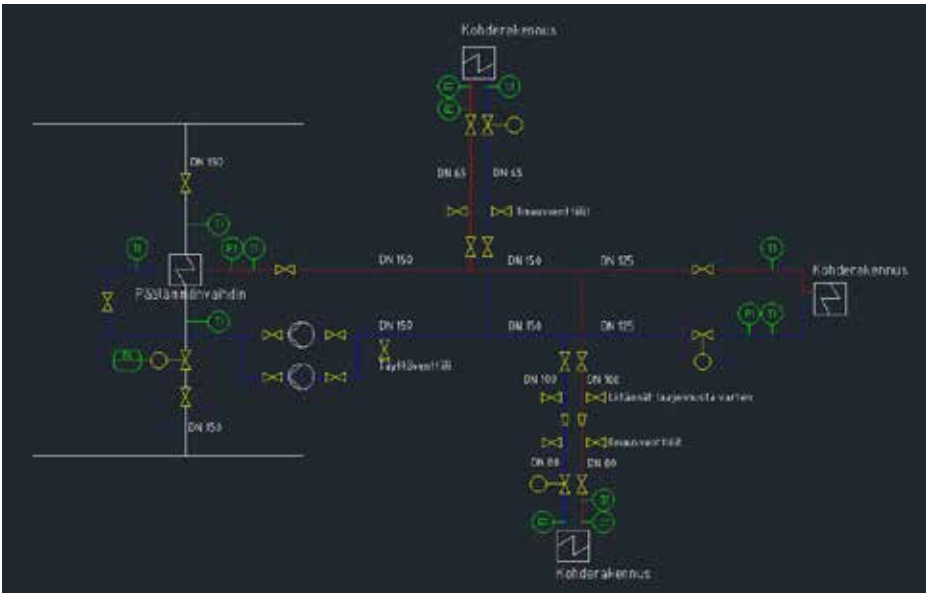
Kuvassa 2 on kartta aluelämmitysverkosta, jossa putkipituutta on noin yhden kilometrin verran. Putkilinjat ovat punaisia, vihreät pallot kuvaavat kohteiden lämmönvaihtimia ja violetti pallo laajennusventtiilin kohtaa. Oranssi pallo kuvaa lämmityslaitosta.



KUVA 2. Aluelämmitysverkko (kuva Teemu Karttaavi).

Aluelämmitysverkon suunnittelu tehdasalueelle rajattiin sisältämään putkiston suunnittelu ja mitoitus lämpökeskuksesta rakennuksiin. Putkistot mitoitettiin niin, että käytetyt kaukolämpöveden jäähtymät olivat 50 °C lämmityskohteiden lämmönvaihtimissa. Höyrylämmitykseen verrattuna vesikiertoiset järjestelmät ovat hyviä helppokäyttöisyyden ja turvallisuuden kannalta. Muuttamalla höyrykierto vesikiertoiseksi madaltuneiden lämpötilojen ansiosta putkiston lämpöhäviöt minimoituvat. Alle 10 MW:n verkoissa vedenkäsittelyä ei tarvita, kunhan lisäveden tarve on pieni ja raakavesi on hyvälaatuista (Energiateollisuus 2007, 10).

Kuvassa 3 esitetään projektissa suunnitellun aluelämmitysverkon PI-kaavio. Päälämmönvaihtimelta lähtevä kohderakennuksiin menevä punainen viiva on menolinja ja sininen on paluulinja. Putkien viivojen päällä näkyy käytettävä DN-koko. Kuvassa TI on lämpötilanmittaus ja PI paineenmittaus. Pallolliset venttiilit ovat säädettäviä venttiilejä, jotka on tarkoitettu kohteiden lämpötilan säätämiseen, ja pallottomat ovat käsiventtiilejä huoltoa varten (mm. osiointi-, ilmausventtiilejä ja täyttöventtiili). Lämmitysverkossa on kaksi säädettävää kiertovesipumppua rinnakkain.



KUVA 3. Aluelämmitysjärjestelmän PI-kaavio (kuva Teemu Karttaavi).

Mitoituksen tuloksina saatiin korvaavien vesi-vesilämmönvaihtimien tehot, luettelo toimilaitteista (pumput, venttiilit, lämpötila- ja painemittalaitteet) vesikierron ohjausta ja valvontaa varten sekä putkistorakenteiden, asennuksen, eristyksen ja automaation kustannukset. Lämmitysverkon suunnittelun tuloksena saatiin kokonaishinta-arvio verkolle. Takaisinmaksuajaksi tuli kymmenen kuukautta verrattuna säästetyn höyryn arvoon.

YHTEENVETO

Raportissa on tarkasteltu aluelämmitysverkon toteutusta tehdasalueelle. Useat vanhemmat tehtaas on rakennettu aikana, jolloin energiatehokkuuteen ei ole kiinnitetty huomiota. Tämän päivän tekniikka ja päästörajoitukset kannustavat kehittämään vanhojen tehdasalueiden lämmitysratkaisuja energiatehokkaammiksi. Aluelämmityksen kehittäminen erilaisia vaihtoehtoja harkiten on kannattavaa energiavirtojen optimoinnin, kustannussäästöjen ja luonnonvarojen kannalta. Tulevaisuudessa uudempi tekniikka ja matalalämpötilajärjestelmät lisäävät energiansäästöä.

LÄHTEET

Energiateollisuus ry. 2006. Kaukolämmön käsikirja. Helsinki: Libris Oy.

Energiateollisuus ry. 2007. ET suositus KK3/2007 ”Kaukolämmön kiertoveden käsittely”. PDF-dokumentti. Saatavissa: https://energia.fi/files/840/SuositusKK3_2007_Kaukolammon_kiertoveden_kasittely.pdf [viitattu 5.10.2018].

Energiateollisuus ry. 2018. Yhteistuotanto. WWW-dokumentti. Saatavissa: https://energia.fi/perustietoa_energia-alasta/energiantuotanto/yhteistuotanto [viitattu 2.10.2018].

