



METSÄ, YMPÄRISTÖ JA ENERGIA

Soveltavaa tutkimusta ja tuotekehitystä

Vuosijulkaisu 2022

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 2022

XAMK KEHITTÄÄ 208

KAAKKOIS-SUOMEN AMMATTIKORKEAKOULU
MIKKELI 2022

© Tekijät ja Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu

Kannen kuva: Lasse Pulkkinen

Taitto ja paino: Grano Oy

ISBN: 978-952-344-508-6 (nid.)

ISBN: 978-952-344-502-4 (PDF)

ISSN: 2489-2467 (nid.)

ISSN: 2489-3102 (verkko)

julkaisut@xamk.fi

LUKIJALLE

Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu (Xamk) tuottaa uutta soveltavaa tutkimusta ja menetelmiä sekä kehittää tuotteita ja palveluja Etelä-Savon ja Kymenlaakson alueiden tarpeisiin. Tutkimus- ja kehittämisorganisaationa Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu tähtää etenkin toiminta-alueensa Kouvolan, Kotkan, Mikkelin ja Savonlinnan seutujen elinvoiman vahvistamiseen.

Suuntaviivoja tutkimus- ja kehitystyölle luovat muun muassa maakuntien, alueen yritysten ja Euroopan unionin strategiset tavoitteet. Tutkimusyhteistyötä tehdään yritysten, järjestöjen, julkisyhteisöjen, yliopistojen, ammattikorkeakoulujen ja tutkimuslaitosten kanssa alueellisella, kansallisella ja kansainvälisellä tasolla.

Vuoden 2022 Metsä, ympäristö ja energia – soveltavaa tutkimusta ja tuotekehitystä -julkaisu on jälleen laaja kokoelma vahvuusalan TKI-toimintaa esittelevistä artikkeleista bio-, kierto- ja vesitalouden sekä uusien teknologioiden alalta.

Tekijät kiittävät hankkeiden rahoittajia sekä yhteistyökumppaneita yhteisen tutkimus- ja kehitystoiminnan mahdollistamisesta.

Mikkelissä 16.12.2022

Tekijät

TEKIJÄT

ELIAS ALTARRIBA, TkL, projektipäällikkö

Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu, Logistiikka ja merenkulku

ELMAR BERNHARDT, ins., testaus- ja suunnittelupäällikkö

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

SVETLANA BUTYLINA, TkT, tutkijatohtori

Lappeenrannan–Lahden teknillinen yliopisto LUT

ANNA DUNDERFELT, tradenomi (ylempi AMK), TKI-asiantuntija

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

ANNE GANGO, DI, lehtori

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

JONNE GRÅSTEN, FM, kehityspäällikkö

Metsäsairila Oy

KIMMO HAAPEA, MsC (Econ.), kehityspäällikkö

Mikkelin kehitysyhtiö Miksei Oy

ARI HAAPANEN, Insinööri (YAMK), lehtori

Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu, Kulttuurin koulutusyksikkö

NOORA HAATANEN, DI, projektipäällikkö

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

AARNO HATSALA, insinööri (AMK), tutkimusinsinööri

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

ELINA HAVIA, DI, tutkimuspäällikkö

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

AKI HEINONEN, DI, projektipäällikkö

Metsäsairila Oy

SARI HIMANEN, PhD, Grant Writer

Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu

YRJÖ HILTUNEN, FT, tutkimuspäällikkö

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

SAMULI HONKAPURO, Energiamarkkinoiden professori, TkT

Lappeenrannan–Lahden teknillinen yliopisto LUT

MIKKO HOKKANEN, DI, projektitutkija

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

ESA HUUHTANEN, laboratoriomekaanikko

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

EETU HUTTUNEN, DI, TKI-asiantuntija

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

SARI HYVÖNEN, FM, kemisti

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

MARIKA HÄNNINEN, metsätalousinsinööri, tiimiesimies

Kouvolan Ammattiopisto Oy (Eduko)

TOMI HÖÖK, DI, TKI-asiantuntija

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

PETTERI JERNSTRÖM, TkT, tutkimusjohtaja

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

KATI JORDAN, KM, TKI-asiantuntija

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

JANNE JUNNINEN, FM-opiskelija, tutkimusapulainen

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

JOHANNA JÄRVINEN, ympäristötekniikan insinööri, kiertotalousasiantuntija

Mikkelin kehitysyritys Miksei Oy

JOONAS KAHILUOTO, DI, tutkija

SYKE Laboratoriokeskus

VILLE KAKKONEN, DI, toimitusjohtaja

Metsäsairila Oy

TIINA KAPRIO, DI, TKI-asiantuntija

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

PETRI KAPUINEN, MML, tutkija

Luonnonvarakeskus Luke

SIMO KARJALAINEN, DI, Manager

Andritz Oy

TEEMU KARTTAIVI, insinööri (AMK), tutkimusinsinööri

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

MIRA KETTUNEN, teollisen puurakentamisen insinööriopiskelija, tutkimusapulainen

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

JANI KIVIRANTA, MBA, projektipäällikkö

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

PAULUS KIVIRANTA, insinööri AMK, tutkimusinsinööri

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

JAANA KOKKONEN, insinööri AMK, tutkimusinsinööri

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

JUSSI KONTTILA, insinööri (AMK), tutkimusinsinööri

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

RIKU KOPRA, TkT, TKI-asiantuntija

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

TUIJA KORPELA, DI, tutkimusinsinööri

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

JUHA KORPIJÄRVI, TkT, yliopettaja

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

VAPPU KUNNAALA-HYRKKI, DI, TKI-asiantuntija

Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu, TKI-palvelut

MAUNU KUOSA, TkT, kehitysinsinööri

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

EVELIINA KUOKKANEN, DI, projektipäällikkö

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

JAANA KYHYRÄINEN, tradenomi, asiantuntija

Kouvola Innovation

JARI KÄYHKÖ, TkT, TKI-asiantuntija

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

TURO LAINE, TkK, tutkimusinsinööri

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

ANNE LAITINEN, insinööri (AMK), jäteneuvoja

Metsäsairila Oy

NIINA LAURILA, insinööri (AMK), TKI-asiantuntija

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

MARJATTA LEHESVAARA, FM, lehtori

Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu, Metsätalouden ja ympäristötekniikan koulutusyksikkö

HANNU LEINONEN, ins., TKI-yksikönjohtaja

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

TIMO LOIKALA, insinööri, tutkimusinsinööri

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

JUHA LUOSTARINEN, pääsuunnittelija

Metener Oy

VUOKKO MALK, FM, TKI-asiantuntija

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

FANNY MALMSTEDT, insinööri (AMK), tutkimusinsinööri

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

MELINA MAUNULA, DI, TKI-asiantuntija

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

MARJA MIKOLA, FM, väitöskirjatutkija

Oulun yliopisto, Kemiallisen prosessiteknikan yksikkö

HENRI MONTONEN, DI, tutkimusinsinööri

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

AKI MYKKÄNEN, insinööri (AMK), projektitutkija

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

KAI MÖLLER, insinööri (AMK), projektipäällikkö

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

EKATERINA NIKOLSKAYA, FT, projektitutkija

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

VESA NYRHINEN, pastori, toiminnanjohtaja

ViaDia Mikkeli ry

JUHA-PEKKA ONTRONEN, KTM, projektiasiantuntija

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

MINTTU PAAKKARI, insinööri (AMK) opiskelija

Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu

JUHANA PAKKASMAA, DI, TKI-asiantuntija

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

OLGA PASTUSHOK, DI, projektitutkija

Lappeenrannan–Lahden teknillinen yliopisto

LEENA PEKURINEN, insinööri (YAMK), projektitutkija

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

KALLE PESONEN, DI, lehtori

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

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

Andritz Oy

MARKO PIISPA, laboratorioteknikko

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

LOTTA PIRINEN, insinööri (AMK), projektitutkija

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

LASSE PULKKINEN, FT, tutkimusjohtaja

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

SALLA PULLIAINEN, insinööri (AMK), projektipäällikkö

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

MIA PURSIAINEN, laborantti, projektitutkija

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

SIRPA RAHIALA, TkT, tutkimuspäällikkö

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

JUHO RAJALA, FT, lehtori

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

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

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

MARKO RASI, TkT, TKI-asiantuntija

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

EVELIINA REPO, professori, TkT

Lappeenrannan–Lahden teknillinen yliopisto LUT

TERHI ROPPONEN, insinööri (AMK), tutkimusinsinööri

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

TIINA SAARIO, DI, projektitutkija

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

HANNU SARVELAINEN, DI, lehtori

Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu, Rakennus- ja energiatekniikan koulutusyksikkö

SARI SEPPÄLÄINEN, ins. (AMK), laboratorioinsinööri

Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu, Metsätalouden ja ympäristötekniikan koulutusyksikkö

HANNE SOININEN, TkT, tutkimusryhmäpäällikkö

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

JUHA SOLIO, laitosvastaava BioSampo

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

MIIA SOURANDER, insinööri (AMK), tutkimusinsinööri

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

RAMJEE SUBRAMANIAN, TkT, TKI-asiantutija

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

TARU TANHUANPÄÄ, MMK, TKI-asiantuntija

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

MARI TARKKONEN, markkinointipäällikkö

Nanopar Oy

MIKKO TIKKINEN, MMT, tutkija

Luonnonvarakeskus

HEIKKI TIRKKONEN, DI, vanhempi konsultti, toimitusjohtaja

Casfin Oy

MARLEENA TIRKKONEN, insinööri (AMK), tutkimusinsinööri

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

ELLA TIRRONEN, insinööri (AMK), projektitutkija

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

ERJA TULINIEMI, insinööri (AMK), projektipäällikkö

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

OUTI TUOMELA, FM, TKI-asiantuntija

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

RIINA TUOMINEN, insinööri (ylempi AMK), projektipäällikkö

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

IRINA TURKU, TkT, projektipäällikkö

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

JUHANI TURUNEN, TkL, TKI-asiantuntija

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

ELLI TYKKÄ, insinööri (AMK), laboratorioinsinööri

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

ANU VAINIO, muotoilija (ylempi AMK), TKI-asiantuntija
Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu, Metsä, ympäristö ja energia -vahvuusala

SAILA VARIS, FT, erikoistutkija
Luonnonvarakeskus

JUHA VIHAVAINEN, insinööri (AMK), tutkimusinsinööri
Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu, Metsä, ympäristö ja energia -vahvuusala

SAKARI VÄLIMÄKI, FM, tutkija
Luonnonvarakeskus

SISÄLTÖ

| | |
|--|----|
| LUKIJALLE..... | 3 |
| TEKIJÄT..... | 4 |
| TIETOA, INNOVAATIOITA JA ALUEELLISTA VAIKUTTAUVUUTTA | 17 |
| Lasse Pulkkinen & Petteri Jernström & Hanne Soininen | |
| CITYLOOPS KANNUSTAA BIOJÄTTEIDEN KIERRÄTYKSEEN..... | 21 |
| Johanna Järvinen & Vuokko Malk & Hanne Soininen & Tiina Saario & Janne Junninen & Juha Vihavainen & Minttu Paakkari & Anne Laitinen | |
| BIOVIRTAA – BIOJÄTE KULJETTA..... | 25 |
| Tuija Ranta-Korhonen & Hanne Soininen & Sirpa Rahiala | |
| TUHKAN YMPÄRISTÖVAIKUTUSTEN SEURANTA..... | 28 |
| Marleena Tirkkonen & Juha Vihavainen & Riina Tuominen & Hanne Soininen | |
| FARMENERGY – MAATILOJEN ENERGIAYHTEISÖ -HANKKEELLA ELINVOIMAA MAASEUDULLE | 38 |
| Juha Korpijärvi & Kalle Pesonen & Anna Dunderfelt & Hanne Soininen & Petri Kapuinen & Samuli Honkapuro | |
| LIETTEEN ROOLIN VAHVISTAMINEN KIERTOTALOUDESSA | 41 |
| Vuokko Malk & Janne Junninen & Hanne Soininen & Eveliina Repo & Olga Pastushok | |
| MEKSTIILI – TEHOKASTA TEKSTIILIKIERTOTALOUTTA ETELÄ-SAVOON | 48 |
| Kati Jordan & Hanne Soininen & Johanna Järvinen & Jonne Gråsten & Vesa Nyrhinen | |
| ECOSAIRILAAAN RAKENTUMASSA UUSI KIERTO- JA BIOTALOUDEN KEHITTÄMISYMPÄRISTÖ..... | 53 |
| Hanne Soininen & Tiina Saario & Salla Pulliainen & Jussi Konttila & Aki Heinonen & Ville Kakkonen & Juha Luostarinen & Mari Tarkkonen | |

| | |
|--|-----|
| KENTTÄMITTARIN LUOTETTAVUUS KAAKOPAIKAN SUOTOVEDEN HAPPITOISUUDEN MITTAAMISESSA..... | 56 |
| Salla Pulliainen & Jussi Konttila & Aki Mykkänen | |
| MIKROMUOVI- JA PFAS-YHDISTETUTKIMUSTA ETELÄ-SAVON VESISTÖISTÄ | 62 |
| Aki Mykkänen & Niina Laurila | |
| VEDENLAADUN MONITOROINTIA WATERPLUS-HANKKEESSA | 67 |
| Aki Mykkänen & Niina Laurila & Juha Vihavainen & Joonas Kahiluoto | |
| HULEVESIEN LAADUN SEURANTAA HULEVESIRAKENTEISSA | 76 |
| Tuija Ranta-Korhonen & Marleena Tirkkonen & Aki Mykkänen & Leena Pekurinen | |
| MULTISPEKTRIKUVAUKSET METSÄLANNOKITUSKOHTTEESSA | 82 |
| Juha Vihavainen | |
| BIOHIILIBETONITUOTTEIDEN KOEVALMISTUS JA TOIMIVUUDEN TESTAUS | 89 |
| Anna Dunderfelt & Miia Sourander & Mikko Hokkanen | |
| PURKUMATERIAALIEN HAITALLISET AINEET JA NIIDEN TUNNISTAMINEN | 95 |
| Leena Pekurinen | |
| RAPURC-HANKKEESEEN KUULUVAN PURKUKARTOITUSOVELLUKSEN KEHITYSVAIHEET | 101 |
| Kai Möller & Kimmo Haapea | |
| KIERTOVIIRAT-HANKKEESSA SELVITETTIIN TERMISTEN LIETTEENKÄSITTELYMENETELMIEN MAHDOLLISUUKSIA | 108 |
| Salla Pulliainen & Heikki Tirkkonen | |
| JÄTTIPUTKEN HAIHTUVIEN ÖLJYJEN ANALYSOINTI | 110 |
| Marjatta Lehesvaara & Sari Seppäläinen | |
| OPPIMISKOKEILU – VIRTAVESIKUNNOSTUKSET SIRKKAPUROLLA..... | 116 |
| Juho Rajala | |

| | |
|---|-----|
| TKI-TOIMINNAN JA OPETUKSEN INTEGROINTI – OPISKELIJAT AKTIIVISESTI MUKANA KUITULABORATORION TOIMINNASSA..... | 123 |
| Juha-Pekka Ontronen & Terhi Ropponen | |
| KUHA-HANKKEESSA MERKITTÄVIÄ TULOKSIA KUITULINJAN TOIMINTOJEN KEHITTÄMISEKSI..... | 132 |
| Jari Käyhkö & Riku Kopra & Kari Peltonen | |
| DD-PESURIN AJOTAVAN OPTIMOINTI HYÖDYNTÄEN UUSINTA MITTAUSTEKNIKKAA..... | 146 |
| Riku Kopra & Simo Karjalainen | |
| SELLUTEHTAAN HAPPAMIEN VALKAISUSUODOSTEN PUHDISTAMINEN ULTRASUODATUKSELLE..... | 155 |
| Mia Pursiainen & Sari Hyvönen & Juhani Turunen | |
| ONLINE NMR MEASUREMENTS IN THE WASTEWATER TREATMENT PROCESS OF A PULP MILL | 161 |
| Ekaterina Nikolskaya & Yrjö Hiltunen | |
| ESIHYDROLYSAATIN KONSENTOINTIMÄÄRÄN VAIKUTUS (OLIGOMEERISEN) KSYLAANIN SAOSTUVUUTEEN..... | 168 |
| Lotta Pirinen & Ella Tirronen & Marja Mikola | |
| BIOMASS-TO-METHANOL (BtM) VIA GASIFICATION | 175 |
| Irina Turku | |
| XAMK MUKANA KANSAINVÄLISESSÄ HANKKEESSA RATKOMASSA TEKSTIILIJÄTTEEN HYÖTYKÄYTÖN HAASTEITA | 184 |
| Noora Haatanen & Juhana Pakkasmaa | |
| MONINAISTA VIESTINTÄÄ LAAJASSA KV-HANKKEESSA..... | 191 |
| Juha-Pekka Ontronen | |
| CIRCULAR AND LOW CARBON CONSTRUCTION AND INSULATION MATERIALS – A REVIEW..... | 197 |
| Ramjee Subramanian | |
| TILAELEMENTIN OLOSUHTEIDEN JA MUODONMUUTOSTEN REAALIAIKAINEN SEURANTA, KULJETUSTEN JA VARASTOINNIN SEKÄ SIIRTOJEN AIKANA..... | 210 |
| Aarno Hatsala | |

| | |
|---|-----|
| CLT-VOIMALIITOKSEN GEOMETRIAN LUONTI JA FEM-LASKENTA | 219 |
| Fanny Malmstedt | |
| SUURTEN TESTAUSKAPPALEIDEN MUODONMUUTOSTEN TODENTAMINEN 3D-SKANNAUKSEN AVULLA | 226 |
| Mira Kettunen | |
| MATERIAL AND CHEMICAL ANALYSIS OF MUNICIPAL SOLID WASTE INCINERATION (MSWI) BOTTOM ASH..... | 230 |
| Irina Turku & Svetlana Butylina | |
| ROBOTTIikkaa TAIMITUOTANTOON JA MEKANIIKAN NOPEA TUOTEKEHITYS 3D-TULOSTUKSEN AVULLA..... | 239 |
| Elina Havia & Eetu Huttunen & Elmar Bernhardt & Henri Montonen & Hannu Leinonen & Mikko Tikkinen & Salla Varis & Sakari Välimäki | |
| KIERTOTALOUS KYMENLAAKSON ALUEELLISEN KEHITTÄMISEN KESKIÖSSÄ..... | 249 |
| Melina Maunula & Marika Hänninen & Jaana Kyhyräinen | |
| KOKEMUKSIA KIERTOTALOUDEN ALUEELLISEN TIEDOTUSALUSTAN SUUNNITTELUSTA..... | 258 |
| Melina Maunula & Jani Kiviranta & Ari Haapanen | |
| BOOSTING THE INTERNATIONALISATION OF CIRCULAR BIOECONOMY RDI IN THE KYMENLAAKSO REGION..... | 267 |
| Sari Himanen & Vappu Kunnaala-Hyrkki | |
| LÄMMÖN KULUTUSJOUSTON MAHDOLLISUUDET..... | 277 |
| Paulus Kiviranta & Tuija Korpela & Erja Tuliniemi | |
| ALUEELLISTA YHTEISTYÖTÄ YLIJÄÄMÄLÄMPÖJEN HYÖDYNTÄMISEN PARISSA..... | 291 |
| Paulus Kiviranta & Erja Tuliniemi & Hannu Sarvelainen | |
| VIRTUAALIVOIMALAITOKSET JA ENERGIAYHTEISÖT OSANA JOUSTAVAA SÄHKÖVERKKOAA..... | 297 |
| Turo Laine & Erja Tuliniemi & Tomi Höök | |
| RAKENTAMISEN KIERTOTALOUDEN EKOSYSTEEMI KAAKKOIS-SUOMESSA | 305 |
| Sirpa Rahiala & Anu Vainio | |

| | |
|---|-----|
| HIENONNETTUIJEN KIERRÄTYSMATERIAALIEN JATKOHYÖDYNTÄMISKARTOITUS..... | 312 |
| Tuija Korpela & Eveliina Kuokkanen & Anne Gango & Teemu Karttaavi & Juha Solio & Esa Huuhtanen & Maunu Kuosa | |
| HAASTAVIEN MATERIAALIEN TUTKIMUS JA KIERRÄTYKSEN EDISTÄMINEN HIENONTAMALLA BIOSAMMOSSA..... | 325 |
| Maunu Kuosa & Anne Gango & Teemu Karttaavi & Eveliina Kuokkanen & Esa Huuhtanen & Juha Solio & Tuija Korpela | |
| BIOHIILI RAKENNUSMATERIAALEISSA..... | 340 |
| Jaana Kokkonen & Tuija Korpela & Timo Loikala & Outi Tuomela & Erja Tuliniemi | |
| VÄHÄHIILINEN BETONI..... | 347 |
| Elli Tykkä & Tiina Kaprio | |
| PÄÄSTÖVÄHENNYSMENETELMIEN SUORITUSKYVYN MITTAUKSET TODELLISISSA OLOSUHTEISSA ITÄMERELLÄ..... | 355 |
| Elias Altarriba & Sirpa Rahiala & Marko Piispa & Taru Tanhuanpää | |
| BETONI HIILINIELUNA – RATKAISUJA VÄHÄHIILISEEN RAKENTAMISEEN..... | 364 |
| Elli Tykkä | |

TIETOA, INNOVAATIOITA JA ALUEELLISTA VAIKUTTAVUUTTA

Lasse Pulkkinen & Petteri Jernström & Hanne Soininen

Xamkin Metsä, ympäristö, energia -vahuusalan TKI-toiminta on vuonna 2022 ollut laajempaa kuin koskaan aiemmin. Alueellinen EAKR-rahoitus on tärkeässä roolissa projektimme rahoittamisessa, ja EU-ohjelmakauden murros onkin osaltaan leimannut projektitoimintaamme. Toimintamme tärkeimmät kotipesät ovat omistajakaupunkimme Kotka, Kouvola, Mikkeli ja Savonlinna sekä Etelä-Savon ja Kymenlaakson maakunnat. Demonstroitihankkeet, pilotoinnit ja empiirinen tutkimus kohdistuukin vahvuusalamme usein alueellisten mahdollisuuksien ja haasteiden edistämiseen uusiksi tuotteiksi ja liiketoiminnoiksi. Artikkeleissa kuvatuissa projekteissa ja esimerkeissä onkin taustalla yhteistyö satojen yritysten sekä useiden tutkimus- ja korkeakoulukumppaneiden kanssa.

Koko ajan kasvava osa toimistamme kohdistuu kansallisten ja kansainvälisten ympäristö-, energia- ja materiaalitehokkuushaasteiden ratkomiseen ja uusien kansainvälisten innovaatioiden tuottamiseen. Alueellinen älykäs erikoistuminen onkin ponnahduslauta alueellisen innovaatiotoiminnan kautta kansainvälisille markkinoille. Vahvat klusterit ja ekosysteemit metsäbiotalouden, vesiosaamisen, kestäväen rakentamisen, sivuvirtojen tehokkaan hyödyntämisen sekä energiatehokkuuden alalla laajenevat kaupunki- ja aluekohtaisista verkostoista kansallisen ja kansainvälisen tutkimus-, kehitys- ja innovaatiotoiminnan foorumeiksi. Xamk haluaa vahvuusosalalla olla linkittämässä alueellista kehitystoimintaa osaksi kansainvälisiä arvoketjuja ja -verkostoja.

Nostimme kolme vuotta sitten kiertotalouden tärkeäksi osaksi vahvuusalan strategiassa. Kiertotaloutta eri materiaalien ja myös energiatehokkuuden näkökulmasta käsittelevät innovaatiohankkeet ovat tällä hetkellä tärkeässä roolissa toiminnassamme. Kiertotalouden mahdollisuuksia alueellisessa kehitystoiminnassa käsittelevät useat artikkelit ovatkin vahvasti esillä tässä julkaisussa niin biojalostamosivuvirtojen, rakentamisen kuin tekstiilikiertotalouden aloilla.

TKI-toiminnassa tavoittelemme korkeaan osaamiseen ja teknologiaan perustuvien liiketoimintojen ja kokonaisten liiketoimintaekosysteemien kehittymistä erityisesti Etelä-Savon ja Kymenlaakson maakuntiin, niiden kaupunkiin ja maakunnissa toimiviin yrityksiin. Bio-talous, kiertotalous, resurssiviisaus ja vähähiilisyys ovat konkreettisesti esillä lähes kaikissa tämän vuosijulkaisun artikkeleissa. Samalla esille tulee se mahdollisuuksien moninaisuus, joilla alueellista yrittäjyyttä, osaamista ja innovatiivista liiketoimintaa on mahdollista tutkimuksen ja yritysten yhteistyönä edistää alueen elinvoiman vahvistamiseksi.

TKI-toiminnassa viestintä on tärkeä osa tätä alueellista vaikuttamista. Tässä vuosijulkaisussa tuodaan esille Euroopan Vihreään siirtymään keskeisesti liittyviä hankkeita ja ratkaisuja. Toimijaverkostossamme on huippuosaajia, ja TKI-toimintamme kohteena olevat ratkaisut edustavat alojensa kärkeä.

ENERGIATEHOKKUUS JA HIILINEUTRAALIT RATKAISUT TUTKIMUKSEN KESKIÖSSÄ KYMENLAAKSOSSA

Kotkan–Haminan seudulle suunnitteilla oleva akkuklusteri otti vuonna 2022 tärkeitä, konkreettisia askeleita eteenpäin. Akkumateriaalitehtaiden tuloon valmistaudutaan muun muassa tutkimus-, testaus- ja koulutustarjonnan kehittämisen tiiviissä yhteistyössä LUT:n ja Kotkan–Haminan seudun koulutuskuntayhtymän (Ekamin) kanssa. Akkualan kehittämiseen liittyvä iso hankekokonaisuus käynnistyi loppuvuodesta 2022. Xamkin energiatekniikan TKI-toiminta tullee jatkossa kohdistumaan energiatehokkuuden lisäksi laajemmin myös energian varastointiin liittyviin teemoihin.

Energiatehokkuus on ajankohtaisena aiheena vahvasti esillä vuosijulkaisussa. Artikkeleissa kerrotaan hankkeissa tehdystä soveltavasta tutkimuksesta ja pilotoitien tuloksista muun muassa hukkalämmön hyödyntämiseen, kulutusjousto- ja virtuaalivoimalakonseptiin liittyen. Vuoden 2022 aikana päättyneet hankkeet ja niiden tulokset ovat hieno osoitus Xamkissa tehtävästä korkeatasoisesta ja pitkäjännitteisestä TKI-työstä energiatehokkuuden saralla.

TKI-yksikkö BioSammon kehittäminen sai vauhtia kuluneen vuoden aikana, ja loppuvuodesta varmistui laajan investointihankkeen rahoitus. Investoinnin avulla BioSammon tutkimus- ja pilotoitintyöympäristö rakennetaan kansainväliselle tasolle. Yksikössä tehdään ajan hermolla olevaa tutkimusta muun muassa biohiilen hyvien ominaisuuksien hyödyntämisestä erilaisissa rakennusmateriaaleissa. Toinen merkittävä tutkimusteema on haastavien materiaalien, jatkossa myös tekstiilien, kierrätyksen edistäminen hienontamalla. Vuosijulkaisussa on molemmista aiheista mielenkiintoiset artikkelit.

BioSammolle on myös kaavailtu keskeistä roolia Kouvolaan suunnitteilla olevassa bio- ja kiertotalouden osaamiskeskuksessa. Hyötyvirran alueelle sijoittuvan osaamiskeskuksen tehtävänä on tarjota kiertotalouden innovaatio-, kokeilu- ja koulutusalausta ja olla yhden luokun periaatteella toimiva palvelupiste yrityksille. Vuosijulkaisun aiheeseen liittyvät artikkelit valottavat seikkaperäisesti Hyötyvirta-alueen kehittämissuunnitelmia.

TKI-yksikkö KymiLabsissa vuonna 2021 aloitettu tutkimus betonin hiilidioksidikovettamisesta on jo nyt noussut betonitutkimuksen kuumaksi aiheeksi ja poikanut jatkohankkeen, jota on rahoittamassa Kymenlaakson liiton ohella neljä keskeistä kotimaista betonialan yritystä. Rakennetulla ympäristöllä on ratkaiseva rooli ilmastonmuutoksen hillinnässä, sillä rakennusten ja infrastruktuurin rakentaminen kuluttaa lähes puolet maapallon raaka-aineista – ja rakentaminen tuottaa kolmasosan kaikista päästöistä.

UUSIA MATERIAALITUTKIMUKSEN JA PROSESSITEKNIIKOIDEN AVAUKSIA

Savonlinnassa toimivat vahvat tutkimusyksikkömme Kuitulaboratorio sekä Elektroniikan 3K-tehdas. Elektroniikan 3K-tehtaan innovaatio- ja kehitystoiminta on viimeisten vuosien aikana vahvistanut yhteistyötään erityisesti kuitumateriaali- ja metsäalan toimijoiden kanssa. Vuosijulkaisussa onkin esillä tuore katsaus Luonnonvarakeskuksen ja Xamkin yhteistyönä kehittämään robotiikkasovellukseen metsänjalostuksen alalla. Artikkelit on loistava katsaus jo konkreettiseen pilot-tuotantoon johtavasta ratkaisusta, jossa Xamkin korkean teknologian ja automaation osaaminen on yhdistynyt Luonnonvarakeskuksen metsäbiotalouden syväosaamiseen. Uuden 3D-tulostusteknologian soveltaminen taimituotantorobotiikkaan antaa samalla näytteen Savonlinnassa vahvistuvasta digitaalisen valmistuksen alasta materiaalitekniikoinen jatkuvasti monipuolistuvine mahdollisuuksineen.

Kuitulaboratorion osalta julkaisussa olevat artikkelit liittyvät vahvoihin tutkimusyksikön tutkimusaloihin sellutehdas-metsäbiojalostamon yksikköprosessien tehostamisen sekä uuden teknologian prosessimittausten aloilla. Metsäbiojalostamojen vesitekniikan hallintaan tuodaan julkaisussa esille myös merkittävän PUREWA-projektin osatuloja. Oulun yliopiston ja Xamk Kuitulaboratorion yhteinen projekti, jossa keskitytään puusta eroteltavan hemiselluloosan hyödyntämismahdollisuuksiin metsäbiojalostamoissa, on myös ajan hermolla oleva katsaus puubiomassan hyödyntämisen ja prosessitekniikan moniin mahdollisuuksiin.

Myös Kuitulaboratoriossa on tartuttu kiertotalouden haasteisiin ja mahdollisuuksiin niin kutsutun perinteisen kemiallisen metsäteollisuuden ja sen uudistumiseen sekä resurssitehokkuuteen keskittyneen tutkimustoiminnan rinnalla. New Cotton HORIZON -projektin katsaus osoittaa kemialliseen metsäteollisuuteen ja alan teolliseen tutkimukseen ja pilotointiin rakennetun tutkimus- ja koeympäristön mahdollisuuksista ratkottaessa kierrätyspuuvillan prosessi- ja kuituteknisiä haasteita jalostettaessa poistotekstiileistä uusia tekstiilikuituja, lankoja ja vaatteita teollisessa mittakaavassa.

Alueellisen – tosin erittäin laajan eri puolille Suomea levittyvän yritysjoukon kanssa toteutetun – Hugger-projektin sovellusesimerkki jätteenpolton pohjakuonan käsittelystä on hieno katsaus kiertotalouden ajankohtaisiin haasteisiin, joita Savonlinnassa ollaan ratkomassa. Xamkin kansainväliset patentit ja yritysyritys yhteistyö hiilidioksidin talteenottoteknologian alalla ovat taustana katsaukseen, jossa avataan synteettisen metanolin mahdollisuuksia osana vihreää siirtymää ja energiahaasteiden ratkaisua.

Tekniikkapainotteisten artikkelien lisäksi julkaisussa on tärkeä katsaus tutkimuslaboratorion ja opetuksen väliseen yhteistyöhön, onhan opetuksen ja tutkimuksen yhteistyön jatkuva parantaminen yksi koko ammattikorkeakoulun strategisista avainasioista.

Savonlinnassa vahvistetaan merkittävästi puu- ja hybridirakentamiseen keskittyvää TKI-toimintaa. Vaikka uusi laboratorioympäristö onkin vielä rakenteilla, on julkaisussa esillä useita artikkeleita, joissa esitellään Xamkin jo nyt tärkeää roolia yritysten yhteistyökumppanina uudistettaessa rakentamiseen liittyviä tuotteita ja menetelmiä. Merkitsevä on myös se, että kirjoittajina on myös tuoreita Savonlinnassa alkaneen rakennustekniikan AMK-insinööriopiskelijoita, jotka ovat jo päässeet mukaan alan TKI-projekteihin.

YMPÄRISTÖTURVALLISUUDEN TUTKIMUSAVAUKSIA

Xamkin Mikkelin ympäristöturvallisuuden tutkimusryhmä edistää vesistöjen puhtautta ja ravinteiden suljettua kiertoa yhdessä yhteistyökumppaneiden kanssa. Ympäristöturvallisuuden yhteistyöryhmä tekee myös vahvaa yhteistyötä Blue Economy Mikkelin (BEM) -klusterin ja sen verkostojen kanssa. Vuosijulkaisussa 2022 on esillä artikkeleita Mikkelissä toteutettavasta ympäristöturvallisuuden, vesi-, bio- ja kiertotalouden alueellisesta, kansallisesta ja kansainvälisestä yhteistyöstä.

Tutkimusryhmän uusimmat alueelliset avaukset keskittyvät muun muassa jätevesilietteiden ja biojätteiden sisältämien ravinteiden talteenoton lisäämiseen ja materiaalivirtojen kiertotalouden kehittämiseen. Lietteen roolin vahvistaminen kiertotaloudessa – innovatiivinen hyötykäyttö vedenkäsittelyssä, akkumateriaaleissa ja 3D-tulostuksessa -hankkeessa keskitytään erityisesti jätevesilietteen mahdollisuuksiin kriittisten raaka-aineiden lähteenä. Hanke on Lappeenrannan–Lahden teknillisen yliopiston (LUT) ja Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulun (Xamk) yhteishanke, jota rahoittaa Etelä-Savon maakuntaliitto Euroopan aluekehitysrahastosta. Vuoden 2022 joulukuun alussa käynnistyneessä Biovirtaa – Biojäte kuljettaa -hankkeessa keskitytään ravinteiden talteenoton lisäämiseen yhdyskuntien materiaalivirroista Etelä-Savon alueella. Biovirtaa-hanketta rahoittaa Etelä-Savon maakuntaliitto Euroopan aluekehitysrahastosta, ja sitä toteutetaan yhteistyössä Metsäsairila Oy:n ja Kymenlaakson jätehuollon kanssa. Vuoden 2022 marraskuun alussa käynnistyneessä Mekstiili – Tehokasta tekstiilikiertotaloutta Etelä-Savoon -hankkeessa pilotoidaan uusia toimintamalleja kiertotalouden edistämiseksi. Hanke on Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulun, Mikkelin kehitysyritys Miksei Oy:n, Metsäsairila Oy:n ja ViaDia Mikkelin ry:n yhteinen ryhmähanke, ja sitä rahoittaa Etelä-Savon maakuntaliitto Euroopan aluekehitysrahastosta.

Vuonna 2022 ympäristöturvallisuuden tutkimusryhmässä oli käynnissä useampi kansallinen ja kansainvälinen hankekokonaisuus. Uusimmassa kansallisessa FarmEnergy – Maatilojen energia-yhteisö -hankkeessa luodaan edellytyksiä sekä demonstroidaan maaseudun energia-yhteisön toimintaa. FarmEnergy-hanketta toteuttavat yhdessä maaseudun yritysten kanssa Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu, Lappeenrannan–Lahden teknillinen yliopisto LUT ja Luonnonvarakeskus Luke. Hanketta rahoittaa Hämeen ELY-keskus Manner-Suomen maaseudun kehittämisohjelma 2014–2020 (Elpyminen 2021–2022) -rahastosta.

CITYLOOPS KANNUSTAA BIOJÄTTEIDEN KIERRÄTYKSEEN

Johanna Järvinen & Vuokko Malk & Hanne Soininen & Tiina Saario & Janne Junninen & Juha Vihavainen & Minttu Paakkari & Anne Laitinen

Mikkelissä edistetään orgaanisen jätteen kiertotaloutta kansainvälisessä CityLoops – Closing the loop for urban material flows -hankkeessa. CityLoopsin aikana toteutetaan biojätteen kiertotaloutta edistäviä kokeiluja yhteistyössä Metsäsairila Oy:n kanssa ja osallistutaan erilaisiin tapahtumiin, joissa kannustetaan ihmisiä biojätteen lajitteluun ja kierrätykseen. Hankkeen toteutuksesta vastaavat Mikkelissä Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu Xamk ja Mikkelin kehitysyritys Miksei Oy. CityLoops-hanke alkoi 1.10.2019, ja se päättyy 30.9.2023. Hanketta koordinoi saksalainen ICLEI – Local Government for Sustainability, ja se saa rahoitusta kansainvälisesti tavoitellusta EU:n Horisontti 2020 -tutkimus- ja innovaatio-ohjelmasta (Grant Agreement No. 821033). Lisätietoja hankkeesta www.xamk.fi/cityloops ja www.mikseimikkeli.fi/hankkeet/cityloops/.

BIOJÄTTEESTÄ LIIKENNEBIOKAASUA

CityLoops-hanke osallistui maanantaina 27.6.2022 Mikkelin satamassa järjestettävään Hulivilikarnevaalin liikennepäivään. Päivän aikana kerrottiin lapsiperheille biojätteen lajittelun tärkeydestä. Erilliskerätystä biojätteestä voidaan valmistaa muun muassa BioSairila Oy:n biojalostamolla liikennebiokaasua, jota hyödynnetään esimerkiksi jäteautojen polttoaineena. Liikennepäivän vetonaula olikin Lassila & Tikanoja Oy:n biokaasulla toimiva jäteauto. Liikennepäivässä lapset pääsivät kokeilemaan muun muassa, minkälaista on olla biokaasulla toimivan jäteauton kuljettajana (kuva 1).



KUVA 1. Liikennepäivän aikana lapset pääsivät värittämään biojätepusseja ja tutustumaan biokaasulla toimivan L&T:n jäteauton ohjaamoon (kuvat Juha Vihavainen).

KIERRÄTYSKARNEVAALIA MIKKELIPUISTOSSA

Lauantaina 2.7.2022 oli Hulivilikarnevaalin juhlapäivä MikkeliPuistossa. CityLoops-hankkeen pisteellä lapsille järjestettiin hauska biojätepeli, jossa lapset saivat tunnistaa biojäteroskikseen kuuluvia biojätteitä. Lisäksi he oppivat myös, miksi biojätteitä tulisi erilliskerätä ja kierrättää. Biojätteistä valmistetaan biokaasua, ja lajittelemalla biojätteet oikein lapset saivat biokaasulla toimivan roska-auton liikkumaan pelilaudalla. Biojätteiden kierrätyksessä lapsia ohjeisti Biokeiju, Cityröllä ja Peppi Pitkätossu ja Biotiedemies (kuva 2). Päivän päätteeksi L&T:n lahjoittamat leluroska-autot arvottiin onnekkaille osallistujille.



KUVA 2. Verneri-kettu pelaamassa biojäteteliä Biotiedemiehen opastuksessa (kuva Tiina Saario).

Tapahtumaan oli järjestetty myös sosiaaliseen mediaan sopiva kuvausseinä, jossa vierailijat saivat ottaa kantaa siihen, kuinka kierrätys on mahtava asia (kuva 3). Lisäksi CityLoopsin teltalla päästiin värittämään paperisia biojätepusseja. Koristeltuja pusseja sai viedä kotiin, jotta biojätteiden keräystä ja kierrätystä oli helppo jatkaa kotikeittiöissä. Värikkään ja toiminnallisen tapahtuman kautta lapsille ja perheille saatiin kerrottua biojätteiden lajittelusta innostavalla tavalla. Tapahtumien aikana tavoitettiin noin 3 200 henkilöä.



KUVA 3. Biokeiju ohjeisti lapsia biojätteen lajittelussa (kuva Tiina Saario).

TULEVAT TAPAHTUMAT

Vuonna 2023 CityLoops-hanke aikoo osallistua Mikkelin kiertotalouspäiville, joka tulee kokoamaan laajan joukon kiertotalouden kanssa työskenteleviä toimijoita yhteiseen tapahtumaan. Tapahtuman tavoitteena on käsitellä kiertotalouden eri teemoja mahdollisimman monipuolisesti ja eri näkökulmista katsottuna. Vuoden 2022 Hulivilikarnevaaleille osallistuminen oli positiivinen kokemus. Tämä innoittaa CityLoops-hanketta osallistumaan myös vuonna 2023 vastaavanlaisiin lapsille suunnattuihin tapahtumiin.

CityLoops-hankkeessa viestitään ja neuvotaan kuntalaisia yhä parempaan biojätteiden erilliskeräykseen ja kierrätykseen. Hankkeessa pyritään tavoittamaan erilaiset ihmisryhmät juuri heille kohdennetuilla tapahtumilla. Myös pienempiä tilaisuuksia järjestetään suurempien tilaisuuksien ohessa, mutta sanoma kaikissa on sama: biojätteiden kierrätys kannattaa.

BIOVIRTAA – BIOJÄTE KULJETTAA

Tuija Ranta-Korhonen & Hanne Soininen & Sirpa Rahiala

Vuoden 2022 joulukuun alussa käynnistyneessä Biovirtaa – Biojäte kuljettaa -hankkeessa keskitytään ravinteiden talteenoton lisäämiseen yhdyskuntien materiaalivirroista Etelä-Savon alueella (kuva 1). Kokonaisuus on suunniteltu vastaamaan tulevaisuuden tarpeita yhteistyössä Metsäsairila Oy:n ja Kymenlaakson jätehuollon kanssa. Biovirtaa-hanketta rahoittaa Etelä-Savon maakuntaliitto Euroopan aluekehitysrahastosta, ja sen toteutusaika on 1.12.2022–31.12.2024.



KUVA 1. Biovirtaa-hankkeessa vahvistetaan biojätteen erilliskeräystä (kuva Manu Eloaho).

TAUSTAA

Biojätettä päätyy edelleen valitettavan paljon sekajätteen joukkoon. Tällöin menetetään osa biojätteen sisältämästä energiasta ja ravinteista. On arvioitu, että mikäli kaikki kotitalouksissa syntyvä biojäte lajiteltaisiin asianmukaisesti ja se käytettäisiin biokaasuprossin raaka-aineena, riittäisi syntyvästä biokaasusta polttoainetta noin 90 000 kaasuautoon. Sekajätteen

seassa oleva biojäte heikentää muiden materiaalien kierrätettävyyttä sekä vähentää myös polttoon menevästä sekajätteen osuudesta saatavaa energian määrää. (Valtioneuvosto 2020)

Salpakierto Oy:n vuonna 2021 toteuttaman tutkimuksen perusteella voitiin todeta, että sekajäte sisältää biojätettä noin 37 prosenttia, kun tutkimustuloksia tarkastellaan kaikkien kiinteistötyyppien osalta. Jopa kiinteistöissä, joista biojätteen erillislajittelu on ollut mahdollista jo yli kahdenkymmenen vuoden ajan, biojätettä on sekajätteen seassa edelleen 30 prosenttia. Taajamien omakotitalojen sekajätteessä biojätteen osuus oli noin 43 prosenttia ja haja-asutusalueilla noin 36 prosenttia. Kaiken kaikkiaan tutkimuksen perusteella todettiin, että edelleen sekajätteestä yli 77 prosenttia on kierrätyskelpoista materiaalia. (Salpakierto 2021)

Myös Etelä-Savossa biojätettä päätyy runsaasti sekajätteen joukkoon. Tämä on voitu todeta muun muassa Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulun toteuttaman CityLoops-hankkeen lajittelukokeissa. Lajittelukokeiden mukaan esimerkiksi Mikkelissä tutkitulla kohdealueella noin 35 prosenttia kiinteistökohteisesta biojätteestä jää lajittelematta ja sen vuoksi hyödynnettämättä. Myös haja-asutusalueiden biojäte jää hyödyntämisen ulkopuolelle.

Jätelakia on viime vuosina uudistettu laajasti, ja viimeisin uudistus astui voimaan 19.7.2021. Uudistuksen myötä vähintään viiden huoneiston kiinteistöjen tulee lajitella sekajätteen lisäksi viisi eri jätelajia, joista yksi on biojäte. Kaikkien yli 10 000 asukkaan taajamien asukkailla biojätteen erilliskeräysvelvoite tulee voimaan heinäkuussa 2024. Biojätteen keräys on mahdollista järjestää monella eri tapaa esimerkiksi kiinteistökohtaisena keräyksenä tai omakotialueilla kortteli- tai kimpfakeräyksenä. Kiinteistöillä tapahtuva kompostointi on edelleen mahdollista, mikäli kiinteistön komposti on asianmukainen. (Ympäristöministeriö s.a.)

Biojätteen käsittelyn tehostaminen Etelä-Savossa edellyttää alueellista kehittämistyötä. Kehitystyön pohjaksi on saatava selkeä käsitys tämänhetkisestä tilanteesta. Biojätteen lajitteluastetta on pyrittävä nostamaan tiedonvälityksen keinoin ja tuomalla esiin ne edut, joita jätteen paremmalla lajittelulla on. Biovirtaa-hankkeessa etsitään ja edistetään käyttäjälähtöisiä ratkaisuja, joiden avulla on mahdollista lisätä biojätteen lajitteluosuutta.

TAVOITTEENA RAVINTEIDEN TALTEENOTON LISÄÄMINEN

Biovirtaa-hankkeen erityisenä tavoitteena on ravinteiden talteenoton lisääminen yhdyskuntien materiaalivirroista Etelä-Savon alueella. Hanke lisää alueellisesti lajittelua ja siten erilliskerätyn biojätteen määrää. Tavoitteena on vahvistaa biojätteen hyötykäyttöä sekä metaanin ja liikennebiokaasun tuotantoa. Vähähiilisyys huomioidaan myös logistiikassa, mikä tarkoittaa biokaasun käytön edistämistä kuljetuksessa. Hankkeen tavoitteena on alueen vakituisten asukkaiden ja loma-asukkaiden tietoisuuden lisääminen ja aktivointi sekä kiertotalouden edistäminen.

TOIMENPITEET JA TULOKSET

Biovirtaa-hankkeessa on neljä toimenpidettä. Toimenpiteet ovat:

TP 1. Biojätteen erilliskeräyksen lisääminen – asukkaiden aktivointi

TP 2. Kiertotaloutta edistävät jäteasiat ja keräysmenetelmät taajamassa ja haja-asutusalueella

TP 3. Pilotoinnit biojätteen erilliskeräyksen tehostamiseksi

TP 4. Viestintä ja raportointi

Hankkeen toimenpiteitä toteutetaan Etelä-Savossa yhteistyössä Metsäsairila Oy:n ja Kymenlaakson jätehuollon ja alueen asukkaiden kanssa.

Hankkeen tuloksena on entisestään lisätä kuluttajien tietoisuutta biojätteen lajittelun eduista. Tietoisuuden lisääminen auttaa nostamaan pilot-alueiden biojätteen lajitteluastetta ja hyödyntämään biojätettä kustannustehokkaasti ja ympäristöystävällisesti. Hyödynnettäväksi kelpaavan erilliskerätyn biojätteen määrän kasvu lisää samalla ravinteiden talteenottoa. Tällä on merkitystä myös alueen omavaraisuuteen. Biojätteen jatkojalostuksen avulla on mahdollisuus kasvattaa uusiutuvan energian, muun muassa biokaasun, määrää. Kehitetyt toimintamallit ovat monistettavissa myös muiden alueiden käyttöön. Pitkällä aikavälillä tämä auttaa yhteiskuntaa toimimaan ilmastonmuutosta hillitsevällä ja kiertotaloutta edistävällä tavalla.

LÄHTEET

Salpakierto 2021. <https://salpakierto.fi/jatteen-koostumustutkimus-osoitti-sekajatteen-siltavan-viela-runsaasti-kierratyskelpoista-materiaalia/>

Valtioneuvosto 2020. <https://valtioneuvosto.fi/-/1410903/suomalaiset-laiskoja-lajittelemaan-biojätettä-erilliskeräyksen-ympäristöhyötyjä-ei-tunnisteta-1>

Ympäristöministeriö s.a. Jätesäädöspaketti. <https://ym.fi/jatesaadospaketti>

TUHKAN YMPÄRISTÖ- VAIKUTUSTEN SEURANTA

Marleena Tirkkonen & Juha Vihavainen & Riina Tuominen &
Hanne Soinen

Vastuullista liiketoimintaa tuhkasta -hanke on Tapio Oy:n, Suomen metsäkeskuksen ja Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulun yhteishanke. Hankkeen tavoitteena oli parantaa tuhkan tuottajien ja hyötykäyttäjien liiketoimintaedellytyksiä sekä luoda mahdollisuuksia uudelle vastuulliselle yritystoiminnalle tuhkan hyötykäytössä. Hankkeen toteutusaika on 1.9.2019–31.12.2022, ja sitä rahoittaa Hämeen ELY-keskus Euroopan maaseudun kehittämisen maatalousrahastosta.

Hankkeen toteutuksen aikana seurattiin tuhkan ympäristöturvallisuutta neljällä seuranta-kohteella. Kohteita on esitelty tarkemmin muun muassa artikkelissa ”Tuhkan ympäristövaikutukset” (Vihavainen ym. 2020) ja ”Tuhkateiden ja tuhkalannoitusalueiden ympäristöseurannan tuloksia” (Tuominen ym. 2021). Tässä artikkelissa on kootusti vanhemman tiekohteen ja metsälannoituskohteen ojaveden kenttämittausten ja vesinäytteiden tuloksia sekä metsälannoituskohteen maanäytteiden seurantatuloksia vuosilta 2020–2022. Seurantakohteiden tulokset julkaistaan laajemmin hankkeen loppuraportissa Tapio Oy:n hankesivuilla www.tapio.fi/projektit/vastuullista-liiketoimintaa-tuhkasta/.

YMPÄRISTÖSEURANTA

Ympäristöseurannan tarkoituksena on kerätä tietoa tuhkan ympäristövaikutuksista, jotta voidaan lisätä tuhkan hyötykäyttökohteiden ympäristöturvallisuutta sekä saada tietoa uusista tuhkan käyttökohteista. Lisäksi tarkoituksena on lisätä tietoisuutta tuhkien hyödynnettävyydestä käyttökohteissa ja tuhkaan liittyvää ympäristötietoutta toimijoiden keskuudessa. Tavoitteena on myös tuoda lisäarvoa tuhkan hyödyntämiseen osana vastuullista liiketoimintaa.

Hankkeen seurantakohteina toimivat kaksi tuhkatietä–murskekerrostietä ja kaksi tuhkalannoituskohdetta. Vanhempi tuhkatie perustettiin vuonna 2017–2018. Uudempi tuhkatie perustettiin hankkeen aikana vuonna 2020. Koealoja sisältävä lannoituskohde perustettiin vuonna 2017, ja tuhkalannoitetun koealan lisäksi alueella sijaitti myös biohiilellä lannoitettu koeala sekä lannoittamaton koeala. Metsälannoituskohteen lannoitus toteutettiin hankkeen aikana elokuussa 2020 helikopterileivityksenä.

Tieseurantakohteilla tehtiin ojaveden ja maaperän laadun seuranta vuosina 2020–2022. Ojavedestä tehtiin kenttämittauksia WTW:n pH/cond 3320 -kenttämittarilla 2–4 viikon välein sulan maan aikaan sekä otettiin vesinäytteitä ojavedestä keväällä ja syksyllä. Maaperänäytteitä otettiin kohteilta vuosittain. Vesi- ja maanäytteet lähetettiin analysoitavaksi ulkopuoliseen laboratorioon. Kohteista tehtiin myös dronekuvausta.

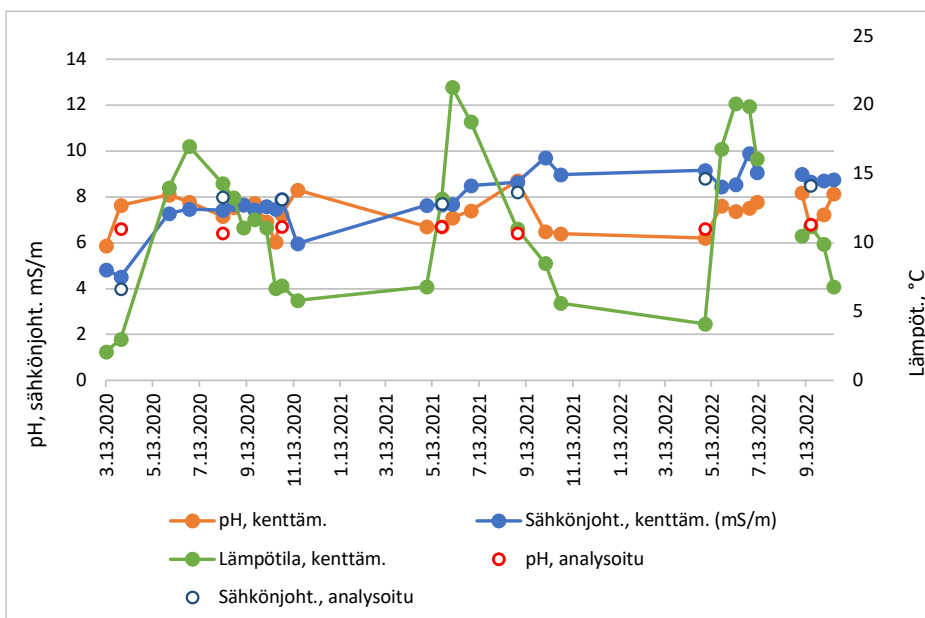
Metsälannoituskohteelta otettiin vesi-, maa-, marja- ja varpunäytteitä sekä tehtiin ojavedestä kenttämittauksia sulan maan aikaan vuosina 2020–2022. Koealoja sisältävällä lannoituskohteella otettiin neulasnäytteitä vuonna 2021 ja maanäytteitä vuosina 2021–2022. Kaikki lannoituskohteiden näytteet analysoitiin ulkopuolisessa laboratoriossa. Lisäksi kohteilla tehtiin dronekuvauksia multispektrikameralla ja visuaalista havainnointia. Metsälannoituskohteella vuonna 2022 tehdystä multispektrikuvantamisesta on kerrottu tarkemmin tämän julkaisun artikkelissa ”Multispektrikuvaukset metsälannoituskohteessa” (Vihavainen 2022).

TIESEURANTAKOhteET

Vanhempi tuhkatie rakennettiin vuonna 2017–2018. Koska tierakenteeseen käytetty tuhka ei täyttänyt MARA-asetuksen vaatimuksia kaikkien aineiden kohdalla, tien rakennus vaati ympäristöluvan. Vanhemman tiekohteen ojaveden mittaus- ja näytteenottopisteenä toimi tuhkatien allttava kahden lammen välinen laskuoja. Ennen tiekohteen rakentamista vuonna 2017 kohteelta otettiin ojavesinäytteitä, jotka edustavat ojaveden tilaa ennen tien tuhka-lisäystä. Tiekohteelta ennen hankkeen alkua vuosina 2017–2020 otettujen vesinäytteiden tulokset olivat hankkeen käytettävissä.

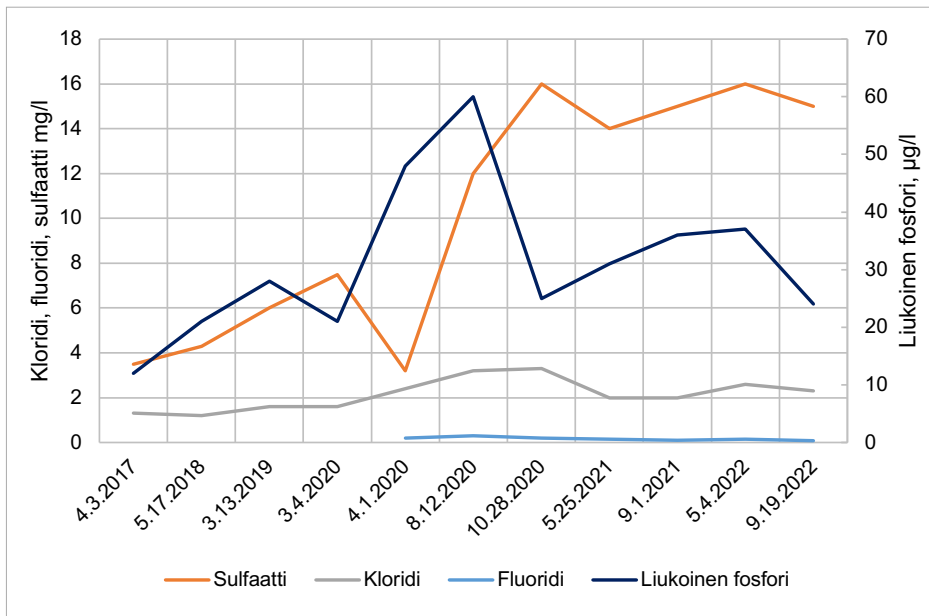
Vuonna 2017 otetun ojavesinäytteen pH-arvo oli 5,9 ja sähkönjohtavuus 2,9 mS/m. pH-arvo ja sähkönjohtavuus nousivat hieman verrattuna lähtötilanteeseen. Seurannan aikana vuosina 2018–2022 pH vaihteli 6,2–6,8 ja sähkönjohtavuus 3,35–8,5 mS/m. Vesinäytteiden laboratoriomääritysten perusteella pH ja sähkönjohtavuus pysyivät suhteellisen hyvin luonnonvesien viitearvoissa, jotka ovat pH:lle 6,5–6,8 ja sähkönjohtavuudelle 5–10 mS/m (Oravainen 1999).

Kenttämittarilla mitattu pH ja sähkönjohtavuus pysyivät suhteellisen tasaisena vuoden 2020 jälkeen (kuva 1). Korkeimmat pH-arvot ja sähkönjohtavuus mitattiin kuivempien kausien aikana eli pääosin kesäkuukausina. Kenttämittausten tulokset osuivat hyvin yhteen laboratoriomääritysten kanssa.



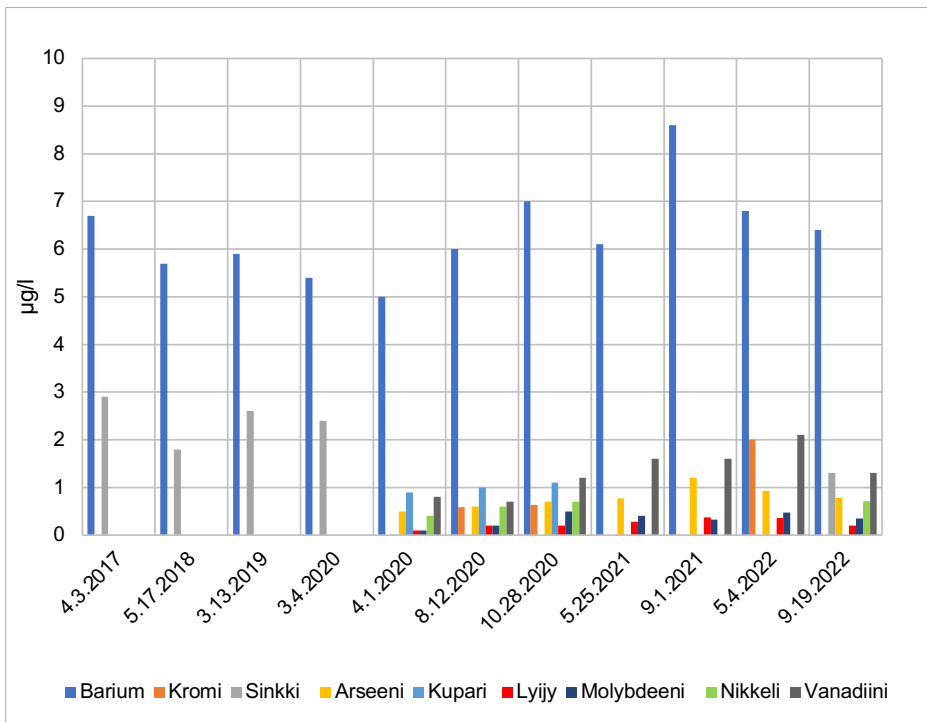
KUVA 1. Ojaveden kenttämittausten tulokset ja laboratoriomääritykset.

Ojaveden sulfaatti- ja fosforipitoisuudessa havaittiin hieman nousua tien tuhkalisäyksen jälkeen (kuva 2). Vuonna 2020 liukoisien fosforin pitoisuus laski ja sulfaattipitoisuus tasoittui. Verrattuna ojaveden sulfaattipitoisuutta sosiaali- ja terveysministeriön asetuksen pienten yksiköiden talousveden laatuvaatimuksista ja valvontatutkimuksista (401/2001) talousveden sulfaattipitoisuuden laatusuositukseen, joka on 250 mg/l, ovat ojaveden sulfaattipitoisuudet suhteellisen alhaiset. Kloridipitoisuus nousi hieman lähtötilanteeseen verrattuna. Fluoridipitoisuudessa ei havaittu juurikaan muutosta.



KUVA 2. Ojaveden vesinäytteistä ulkopuolisessa laboratorioissa määritetyn sulfaatin, kloridin, fluoridin ja liukoisin fosforin tulokset vuosina 2017–2022.

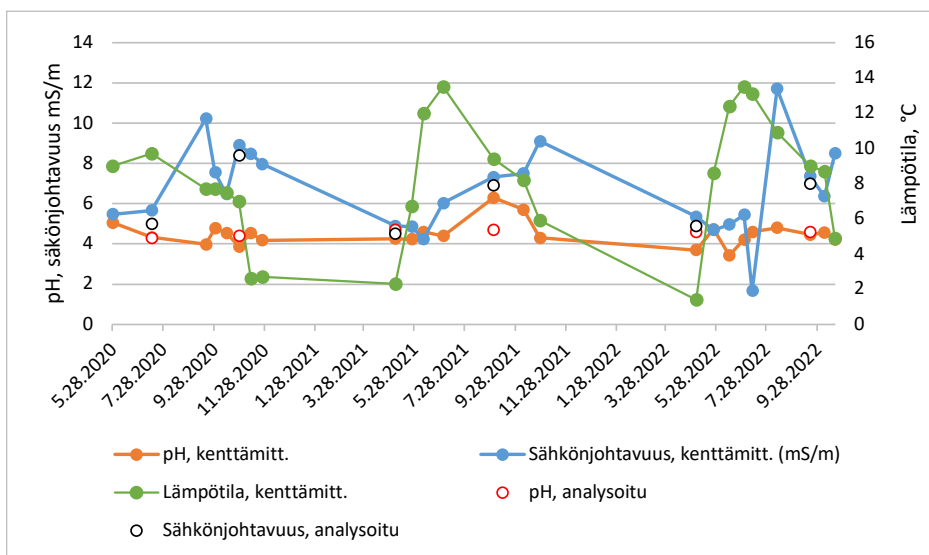
Kuvassa 3 on esitetty vesinäytteistä määritetyt metallipitoisuudet. Ennen hanketta otetuista vesinäytteistä analysoitiin bariumia, kromia ja sinkkiä, mutta hankkeen aikana vesinäytteistä analysoitiin myös antimoni-, arseeni-, elohopea-, kadmium-, kupari-, lyijy-, molybdeeni-, nikkeli- ja vanadiinipitoisuudet. Vesinäytteiden sinkkipitoisuudet ilmoitettiin 1.4.2020 jälkeen tarkkuudella $<5 \mu\text{g/l}$, minkä takia lähivuosina tapahtuneita vähäisiä muutoksia sinkkipitoisuudessa ei voida havaita. Ojaveden metallipitoisuudet olivat alhaisia ja pysyivät suhteellisen tasaisina koko seurannan ajan.



KUVA 3. Ojaveden vesinäytteistä ulkopuolisessa laboratoriossa määritetyt raskasmetallipitoisuudet.

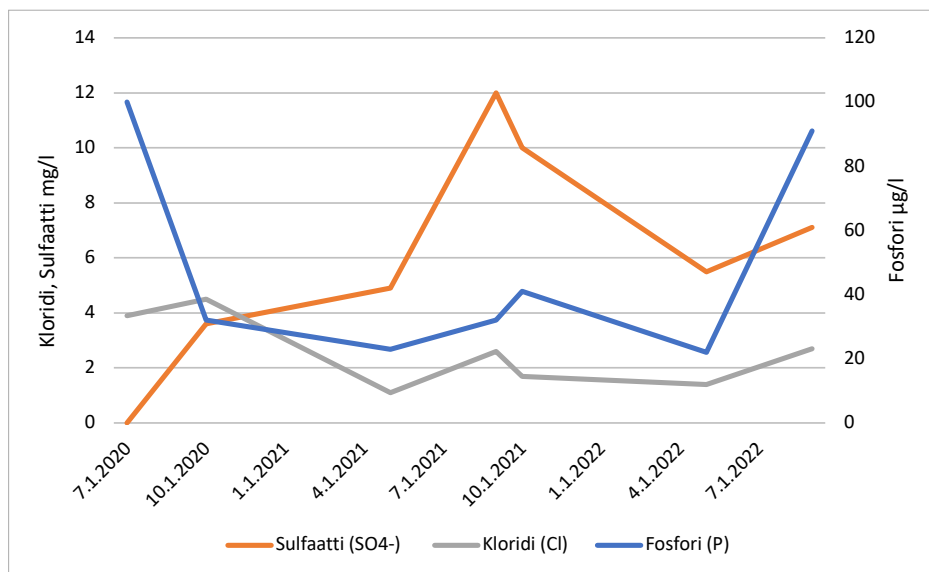
LANNOITUSKOHTEET

Metsälannoituskohte lannoitettiin tuhkalannoitteella vuoden 2020 elokuussa. Ojaveden mittaus- ja näytteenottopisteeksi valittiin metsäalueen läpi kulkeva oja. Ojaveden kenttämittausten tulokset pH-arvon, sähkönjohtavuuden ja lämpötilan osalta ja laboratoriomääritysten tulokset on esitetty kuvassa 4. Sähkönjohtavuudessa havaittiin nousua vuonna 2020 tuhkalannoituksen jälkeen. Seurannan aikana ojaveden kenttämittauksissa sähkönjohtavuus vaihteli 1,67–11,71 mS/m ja pH 4,18–6,3. Alhainen pH-arvo on tyypillinen turvemaille. Korkeimmat pH- ja sähkönjohtavuusarvot mitattiin kuivien kausien aikana eli pääasiassa kesäkuukausina. Kenttämittausten tulokset menivät suhteellisen hyvin yhteen ulkopuolisen laboratoriomääritysten kanssa.



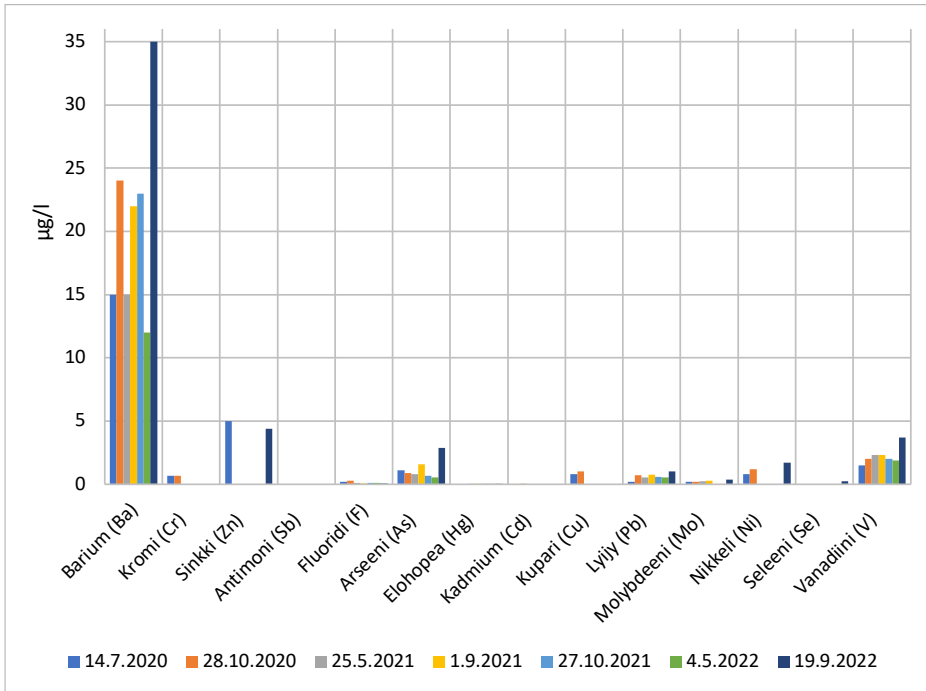
KUVA 4. Metsälannoituskohteen ojaveden kenttämittausten tulokset ja ulkopuoliset laboratoriomääritykset vuosina 2020–2022.

Ojaveden sulfaattipitoisuudessa havaittiin kasvua tuhkalannoituksen jälkeen (kuva 5). Vuonna 2021 sulfaattipitoisuus kääntyi pieneneseen laskuun. Fosforipitoisuus laski tuhkalannoituksen jälkeen, mutta viimeisessä näytteenotossa havaittiin korkeahko fosforipitoisuus. Kloridipitoisuus laski vuodesta 2020 ja pysyi sen jälkeen suhteellisen tasaisena.



KUVA 5. Metsälannoituskohteen ojavedestä ulkopuolisessa laboratoriossa määritetyt sulfaatin, kloridin ja fosforin pitoisuudet.

Ojaveden raskasmetallipitoisuudet olivat pääosin alhaisia ja pysyivät tasaisina koko seurannan ajan (kuva 6). Bariumpitoisuus nousi tuhkalannoituksen jälkeen. Viimeisessä näytteenotossa havaittiin korkeimmat pitoisuudet bariumin, arseenin, nikkelin ja vanadiinin kohdalla koko monitorointijakson aikana. Sinkkipitoisuudet ilmoitettiin tarkkuudella <5 µg/l, minkä takia vähäisiä muutoksia sinkkipitoisuudessa ei voida havaita.



KUVA 6. Metsälannoituskohteen ojavedestä laboratoriossa määritetyt raskasmetallipitoisuudet.

Kasvupaikkatyypiltään metsälannoituskohte on varputurvekangas (Vatkg I) ja pääpuulaji on mänty. Kohde jakautuu kahteen kuvioon: nuoreen kasvatusmetsään (kuvio 28) ja taimikkovaiheiseen metsään (kuvio 15). (Tuominen ym. 2021) Metsälannoituskohteelta otettujen maaperänäytteiden tulokset vuosilta 2020–2022 on esitetty taulukossa 1. Ennen metsäalueen lannoitusta vuonna 2020 otettiin maanäyte kuvastamaan niin sanottua lähöttilannetta. Vuoden 2021 ja 2022 maanäytteet kuvaavat tilannetta lannoituksen jälkeen.

TAULUKKO 1. Metsälannoituskohteen maanäytteiden tulokset vuosilta 2020–2022.

| Ravinne-analyysit | | 25.6. 2020 | 11.8. 2021 | 10.8. 2022 | 25.6. 2020 | 11.8. 2021 | 10.8. 2022 |
|-----------------------|---------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| Analyysi | Yksikkö | Kuvio 15 | Kuvio 15 | Kuvio 15 | Kuvio 28 | Kuvio 28 | Kuvio 28 |
| pH | | 4,3 | 3,9 | 3,6 | 4,7 | 3,9 | 3,8 |
| Typpi (N) | g/kg | 17,8 | 15,9 | 13,4 | 14,3 | 13,8 | 10,9 |
| Fosfori (P) | g/kg | 0,5 | 0,6 | 0,4 | 0,4 | 0,6 | 0,9 |
| Kalium (K) | g/kg | 0,2 | 4,5 | 0,1 | 0,2 | 0,4 | 0,8 |
| Kalsium (Ca) | g/kg | 1,8 | 2,7 | 2,5 | 1,5 | 1,7 | 14,7 |
| Magnesium (Mg) | g/kg | 0,3 | 3,9 | 0,3 | 0,3 | 0,4 | 1,1 |
| Boori (B) | g/kg | 0,4 | 2,7 | 1,9 | 0,2 | 2,8 | 25,1 |
| Kupari (Cu) | mg/kg | <0,4 | 0,4 | <0,4 | <0,4 | <0,4 | 1 |
| Sinkki (Zn) | mg/kg | 3,6 | 3,6 | 3,4 | 3,1 | 4,4 | 15 |
| Mangaani (Mn) | mg/kg | 74,0 | 33 | 110 | 49,0 | 26 | 630 |
| Arseeni (As) | mg/kg | <5,7 | <6,1 | <0,5 | <5,7 | <5,9 | <0,5 |
| Kadmium (Cd) | mg/kg | 0,24 | 0,29 | 0,15 | 0,24 | 0,18 | 0,21 |
| Kromi (Cr) | mg/kg | <3,4 | <3,6 | 1,5 | <3,4 | <3,6 | 0,9 |
| Tuhka | % | 3,97 | 3,96 | 3,23 | 2,38 | 3,07 | 8,22 |

Taulukosta havaitaan, että ravinteiden ja hivenaineiden pitoisuudet kasvoivat enemmän taimikkovaiheisella metsäalueella (kuvio 15) kuin nuorella kasvatusmetsäalueella (kuvio 28) ensimmäisenä vuotena lannoituksen jälkeen. Vuonna 2022 otetuissa maanäytteissä taimikkovaiheisen metsäalueen kalium-, boori- ja magnesiumpitoisuudet laskivat, kun taas nuorella kasvatusmetsäalueella kyseiset pitoisuudet nousivat. Mangaanipitoisuus nousi huomattavasti molemmilla metsäalueilla vuonna 2022. Lannoituksen jälkeen taimikkovaiheinen metsäalue reagoi ensimmäisenä vuonna vahvemmin lannoitukseen kuin nuorempi kasvatusmetsäalue. Nuoremmalla kasvatusmetsäalueella lannoituksen vaikutus näkyi selvemmin vasta kahden vuoden jälkeen lannoituksesta. Puolestaan metsäalueiden pH-arvoissa ja kokonaistyyppi-pitoisuuksissa havaittiin pientä laskua. Maaperän raskasmetallipitoisuuksissa ei havaittu merkittäviä muutoksia.

JOHTOPÄÄTÖKSET

Käytettävissä ollut seuranta-aika oli vielä suhteellisen lyhyt tuhkalannoituksen tai tuhkatierakenteen ympäristövaikutusten seurantaan. Tuhkalannoituksen vaikutukset ovat pitkäaikaisia, sillä tuhkalannoitus vaikuttaa metsän kasvuun jopa usean kymmenen vuoden ajan (Moilanen & Issakainen 2003). Monitorointiaikana havaittiin, että tierakenteiden tuhkalisyys ja metsäalojen tuhkalannoitus nostaa hetkellisesti hieman muun muassa ojavesien pH-arvoa, sähkönjohtavuutta ja sulfaattipitoisuutta. Ojaveden pitoisuuksien havaittiin jo hieman tasaantuneen kolmen vuoden aikana.

Ojaveden sähkönjohtavuudessa ja pH-arvossa esiintyy luontaista vaihtelua, johon vaikuttaa esimerkiksi sateen määrä. Monitorointijakson aikana veden määrä vaihteli ojissa. Pääasiassa kesäkuukausina, jolloin ojissa oli normaalia vähemmän vettä, havaittiin kenttämittauksissa korkeimmat pH- ja sähkönjohtavuusarvot. Sähkönjohtavuus ja pH pysyivät kuitenkin pääosin luonnonvesien viitearvojen sisällä.

Kenttämittareiden todettiin olevan toimiva menetelmä ojavesien pH-arvon ja sähkönjohtavuuden monitoroinnissa. Kenttämittarin etuna on sen nopeus ja helppokäyttöisyys. Lisäksi säännöllisesti toteutetuilla kenttämittauksilla voidaan päästä paremmin kiinni vedenlaadussa tapahtuviin muutoksiin kuin perinteisellä näytteenotolla. Hankkeen aikana kenttämittausten tulokset korreloivat hyvin perinteisesti otettujen ja laboratoriossa analysoidun tulosten kanssa.

Metsälannoituskohteen maaperän hivenaineiden ja ravinteiden, kuten boorin, kalsiumin ja mangaanin, pitoisuuksissa havaittiin pientä nousua verrattuna lähtötilanteeseen. pH-arvot ja kokonaistyyppipitoisuudet laskivat hieman metsäalueilla. Tuhkassa helppoliukoisessa muodossa olevia ravinteita ja hivenaineita, esimerkiksi booria ja kalsiumia, voi vapautua tuhkalannoitteesta jo ensimmäisien vuosien aikana. Tuhkalannoitus lisää maaperän mikrobien toimintaa, minkä takia tyypeä vapautuu kasvillisuuden käyttöön maaperän typpivarannoista. (Huotari 2012)

LÄHTEET

Huotari, N. 2012. Tuhkan käyttö metsänlannoitteena. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://jukuri.luke.fi/bitstream/handle/10024/504366/tuhkan-kaytto-metsalannoitteena%5b1%5d.pdf?sequence=1&isAllowed=y> [viitattu 30.11.2022]

Moilanen, M. & Issakainen, J. 2003. Puu- ja turvetuhkien vaikutus maaperään, metsäkavillisuuden alkuainepitoisuuksiin ja puuston kasvuun. Metsätehon raportti 162. PDF-dokumentti. Saatavissa: https://www.metsateho.fi/wp-content/uploads/2015/02/metsatehon_raportti_162.pdf [viitattu 30.11.2022]

Oravainen, R. 1999. Vesistötulosten tulkinta -opasvihkonen. Saatavissa: <https://kvvy.fi/wp-content/uploads/2015/10/opasvihkonen.pdf> [viitattu 30.11.2022].

Tuominen, R., Haikonen, H-R. & Vihavainen, J. 2021. Tuhkateiden ja tuhkalannoitusalueiden ympäristöseurannan tuloksia. Julkaisussa: Soininen, H., Haatanen, N. & Pulkkinen, L. (toim.) Metsä, ympäristö ja energia. Soveltavaa tutkimusta ja tuotekehitystä. Vuosijulkaisu 2021. Xamk kehittää 183. ISBN: 978-952-344-408-9.

Vihavainen, J., Tuominen, R. & Tenhola, T. 2020. Tuhkan ympäristövaikutukset. Julkaisussa: Soininen, H., Haatanen, N. & Pulkkinen, L. (toim.) Metsä, ympäristö ja energia. Soveltavaa tutkimusta ja tuotekehitystä. Vuosijulkaisu 2020. Xamk kehittää 131. ISBN: 978-952-344-294-8.

Vihavainen, J. 2022. Multispektrikuvaukset metsälannoituskohteessa. Julkaisussa: Soininen, H., Haatanen, N. & Pulkkinen, L. (toim.) Metsä, ympäristö ja energia. Soveltavaa tutkimusta ja tuotekehitystä. Vuosijulkaisu 2022. Xamk kehittää.

FARMENERGY – MAATILOJEN ENERGIAYHTEISÖ -HANKKEELLA ELINVOIMAA MAASEUDULLE

Juha Korpijärvi & Kalle Pesonen & Anna Dunderfelt & Hanne Soininen & Petri Kapuinen & Samuli Honkapuro

Energiankäytön ja hajautetun energian tuotannon edistäminen maaseudulla edellyttää maatilojen energiayhteisöjen luomista. Tällä hetkellä ainoastaan kiinteistöjen sisäiset energiayhteisöt ovat sallittuja. Sallimalla kuitenkin myös kiinteistörajat ylittävät energiayhteisöt koituvat energiayhteisöjen saattamat edut, kuten mahdollisuudet maataloille yhteisten aurinkovoimaloiden ja energiavarastojen hankintaan sekä sisäinen energiakauppa, myös maatilojen eduksi.

FarmEnergy – Maatilojen energiayhteisö -hankkeessa luodaan edellytykset sekä demonstroidaan maaseudun energiayhteisön toimintaa. Hankkeessa syntyy tuloksena mitoitushjelmat aurinkovoimaloiden ja energiavarastojen mitoittamiselle energiayhteisössä sekä tehdään lohkoketjuteknikkaan perustuva kaupankäyntiohjelma energiayhteisön sisäiseen energiakauppaan. Lisäksi pohditaan toimintakonsepti siten, että se on houkutteleva myös sähkönsiirto-operaattoreille.

Hankkeen aikana tuodaan julki maatilojen energiayhteisöjen edut kaikille osapuolille. Nämä edut sekä koko toimintakonsepti osoitetaan mittausdatalla sekä laskennallisesti kannattaviksi niin, että myös lainsäätäjä vakuutetaan kiinteistörajat ylittävien energiayhteisöjen hyödyistä.

FarmEnergy-hanketta toteuttavat yhdessä maaseudun yritysten kanssa Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu, Lappeenrannan–Lahden teknillinen yliopisto LUT ja Luonnonvarakeskus Luke. Hanketta rahoittaa Hämeen ELY-keskus Manner-Suomen maaseudun kehittämisohjelma 2014–2020 (Elpyminen 2021–2022) -rahastosta. Hankkeen kesto on 1.9.2022–31.12.2024.

TAVOITTEENA LUODA EDELLYTYKSIÄ VIHREÄLLE KASVULLE

FarmEnergy-hanke tukee kansallisen maaseutuohjelman tavoitteita, ja se luo edellytyksiä vihreälle kasvulle, mikä näkyy konkreettisesti aurinkovoiman sekä jossain määrin myös pientuulivoiman lisääntymisenä. Tämä korvaa fossiilisia polttoaineita vihreällä, uusiutuvalla

energialla. Samalla luodaan ohjelmistoja, ennen muuta lohkoketjutekniikkaan perustuva energiayhteisöjen sisäinen kaupankäyntiohjelma, joka edistää maatilojen digitalisaatiota antaen mahdollisuudet maatilojen energiankäytön optimointiin.

Tavoitteena on osoittaa energiayhteisöjen kannattavuus sen osakkaina toimiville maatalayrityksille, hajautettujen energiayhteisöjen sähkönsiirrosta vastaavalle jakeluverkko-operaattoreille sekä koko maan kansantaloudelle. Hanke luo liiketoimintamahdollisuuksia hajautetun tuotannon ja energianvarastoinnin tuotantolaitteita valmistaville yrityksille ja jakeluverkko-operaattoreille. Lisäksi edistetään hajautetun tuotannon lisäystä ja luodaan mahdollisuuksia kysynnänjoustoa hyödyntäville yrityksille eli niin sanotuille aggregaattoreille sekä yrityksille, jotka huoltavat ja ylläpitävät hajautetun tuotannon laitteistoja.



KUVA 1. FarmEnergy-hankkeessa demonstroidaan maaseudun energiayhteisön toimintaa (kuva Manu Eloaho).

KOHTI HAJAUTETTUA ENERGIAYHTEISÖÄ

FarmEnergy-hankkeessa muodostetaan Etelä-Savon alueelta hankkeeseen sitoutuneista viidestä alkutuotantotiloista virtuaalinen energiayhteisö. Maatilojen sähkönkäytön tuntitehotietojen perusteella mitoitetaan energiayhteisölle sopivan kokoinen aurinkovoimala ja energiavarasto. Toimenpide edellyttää rekisteröivien tuntitehomittareiden hyödyntämistä mautiloilla, mihin käytetään jo olemassa olevia tai mahdollisesti uusia mittareita. Mitattavaa dataa kerätään yhden toimintavuoden aikana. Toimenpide edellyttää lisäksi aurinkovoimalan ja energiavaraston mitoitusohjelman luomista tai jo valmiiden sovellusten käyttöä ja testaamista tarkoitukseen. Datan käsittelyllä selvitetään se, kuinka paljon energiayhteisön

sähkön tuotanto ja käyttö eroavat määrällisesti ja ajallisesti toisistaan ja onko yhteiskäytöllä ja sisäisellä kaupankäynnillä mahdollisuus tuotanto- ja kulutuserojen tasoittamiseen energiayhteisön osakkaiden kesken. Lisäksi selvitetään energiayhteisön osakkaiden väliseen energiansiirtoon jakeluverkko-operaattorille koituvat kustannukset.

Yhtenä toimenpiteenä on luoda lohkoketjutekniikalla kaupankäyntialusta energiayhteisön käyttöön maatilojen keskinäiseen energiakauppaan. Lohkoketjutekniikka tarkoittaa käytännössä hajautetun tietokannan ylläpitämistä energiayhteisön sisäisen energiakaupan transaktioista. Lohkoketjutekniikka on lupaava uusi menetelmä, johon perustuu esimerkiksi kansainvälisesti tunnettu virtuaalivaluutta bitcoin. Lohkoketjutekniikka on kustannustehokas ja tietoturvallinen tapa energiayhteisön sisäisten kaupankäyntien kirjaamiseen ja hyödyn jakamiseen.

Hajautetulle energiayhteisölle ei ole vielä vakiintunutta toimintamallia. Tarkoituksena on luoda suunnitelma simulaation toteuttamiseksi sekä toteuttaa simulaatio Järvi-Suomen Energian jakeluverkon alueella. Simulaatio pohjataan todelliseen mittaustietoon mukana olevien maaseutuyritysten energian tuotannosta, siirrosta ja kulutuksesta sekä laskennallisista transaktioista energiayhteisön osakkaiden välillä. Hankkeessa laaditaan näkemys tariffimuodon (verkkopalvelumaksun rakenne) kehittämismahdollisuuksista jakeluverkkoyhtiölle siten, että sekä energiayhteisön osakkaat että jakeluverkkoyhtiö pääsevät edunjakajiksi kyseisestä järjestelystä.

Tiedottaminen on näkyvässä roolissa toimenpiteiden aikana. Viestintää ulospäin tehdään sekä hankkeen aikana että tuloksista hankkeen päätyttyä. Lisäksi viestitään kansainvälisesti EU:n EIP-AGRI-verkoston kautta. Hankkeen aikana järjestetään säännöllisiä eri ryhmille tarkoitettuja työryhmäpalavereita, joissa käydään läpi työpakettien toimenpiteitä ja niissä saavutettuja tuloksia.

TULOKSENA TOIMINTAMALLI ENERGIAYHTEISÖN TOIMINNASTA

FarmEnergy-hankkeessa tehdään kannattavuusselvitys energiayhteisön toiminnasta. Selvityksellä osoitetaan toiminnan kannattavuus hankkeen osapuolille niin maatilayrityksille, sähkönsiirto-operaattoreille kuin kansantaloudellisesti. Kehittämistyön aikana luodaan mitoitushjelmat energiayhteisön ja yksittäisen maatilalan hajautetun tuotannon mitoitukseen sekä energiayhteisön ja yksittäisen maatilalan energiavaraston mitoitukseen.

Tarkoituksena on tunnistaa jakeluverkko-operaattorin sähkönsiirtotariffin kehitysmahdollisuudet, ja tavoitteena on kansantaloudellisen hyödyn oikeudenmukainen jakaminen energiayhteisön osakkaille sekä jakeluverkko-operaattorille. Lisäksi hankkeessa syntyy lohkoketjutekniikkaan perustuva kaupankäyntiohjelma energiayhteisön sisäiseen energiakaupankäyntiin. Tuloksia jalkautetaan ja julkaistaan laajasti hankkeen toteutuksen aikana. Luotu toimintamalli on myös muiden organisaatioiden ja yritysneuvojen käytettävissä.

LIETTEEN ROOLIN VAHVISTAMINEN KIERTOTALOUDESSA

Vuokko Malk & Janne Junninen & Hanne Soininen & Eveliina Repo & Olga Pastushok

Luonnonvarojen riittävyys on merkittävässä roolissa nykyisen yhteiskunnan toimivuuden ja talouskasvun turvaamisessa. Samalla ilmastonmuutosta on hillittävä, mutta toisaalta vihreät energiamuodot ovat riippuvaista niin sanotuista kriittisistä raaka-aineista. Näiden aineiden kierrätykseen täytyykin panostaa entistä enemmän. Ravinteiden ja metallien kierrätyksellä on tärkeä merkitys myös nykyisessä maailmanpoliittisessa tilanteessa raaka-aineiden saannin turvaamiseksi EU:n alueella.

Lietteen roolin vahvistaminen kiertotaloudessa – innovatiivinen hyötykäyttö vedenkäsittelyssä, akkumateriaaleissa ja 3D-tulostuksessa on Lappeenrannan–Lahden teknillisen yliopiston (LUT) ja Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulun (Xamk) yhteishanke, jossa keskitytään erityisesti jätevesilietteen mahdollisuuksiin kriittisten raaka-aineiden lähteenä. Hanketta (1.3.2022–31.12.2023) rahoittaa Etelä-Savon maakuntaliitto Euroopan aluekehitysrahastosta.

TOIMENPITEET TOTEUTETAAN YHDESSÄ YRITYSTEN KANSSA

Toteutuksen aikana tehdään tutkimus- ja kehitystyötä yhteistyössä hankkeeseen osallistuvien yritysten kanssa. Tutkimus koostuu uuden lietteenkäsittelymenetelmän kehittamisestä, ravinteiden, epäorgaanisten komponenttien ja orgaanisen jakeen tehokkaasta erottamisesta ja hiilen jalostamisesta korkean asteen jalostustuotteiksi. Tarkemmin LUT:n ja Xamkin toimenpiteet ovat seuraavat:

- Toimenpide 1. Lietteen käsittely epäorgaanisten ja orgaanisten komponenttien erottamiseksi neste- ja kuivajakeeseen
- Toimenpide 2. Arvoaineiden talteenotto nestejakeesta
- Toimenpide 2.1. Ravinteiden ja metallien kemiallinen talteenotto saostamalla
- Toimenpide 2.2. Ravinteiden ja metallien sähkökemiallinen talteenotto
- Toimenpide 3. Hiilijakeen jalostus ja hyödyntäminen
- Toimenpide 3.1. Akkumateriaalit ja muut elektrodit
- Toimenpide 3.2. 3D-tulostus
- Toimenpide 3.3. Suodatinmateriaalit
- Toimenpide 4. Pilot-kokeiden suunnittelu ja toteutus
- Toimenpide 5. Yritysyhteistyö ja viestintä

RAVINTEET JA METALLIT TALTEEN JÄTEVESILIIETTEESTÄ

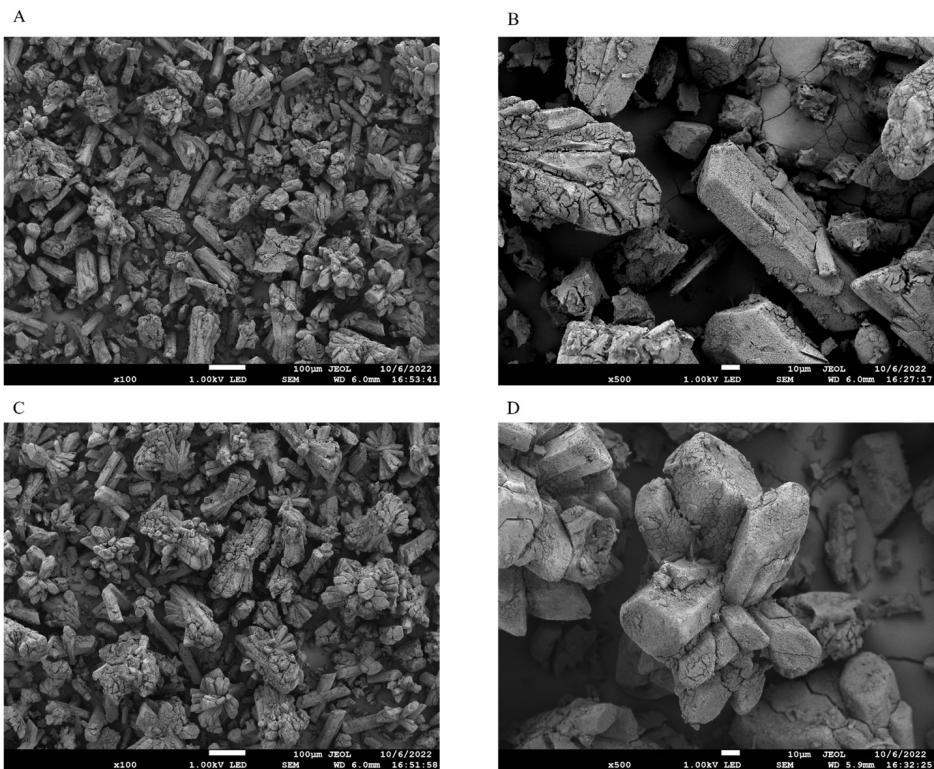
Jätevesiliete sisältää fosforia ja typpeä, joiden tarve maataloudessa ja teollisuudessa kasvaa jatkuvasti (Lehtoranta ym. 2021). Etsimällä vaihtoehtoisia ravinnelähteitä teollisuuden sivuvirroista kasvatetaan fosforin ja typen kierrätyskapasiteettia ja mahdollistetaan jätevesilietteen laajempi käyttö raaka-aineena pelkän kuluerän sijaan. Vesilaitoksella vedenkäsittelyyn käytetään rauta- ja alumiiniyhdisteitä, jotka päätyvät jätevesilietteeseen. Metallien, kuten raudan ja alumiinin, poistaminen on tärkeää vedenpuhdistuksen kannalta. Talteenotolla voidaan lisätä tulevaisuudessa metallien kiertotaloutta.

Xamkin osiossa etsitään toimivaa keinoa saostaa jätevesilietteestä rauta ja alumiini hydroksidina nostamalla pH-tasot kaksipordaisesti sopiville alueille (kuva 1). Saostusprosessi on monivaiheinen ja pH-riippuvainen. Jätevesiliete sisältää kiintoainesta ja monia eri metalleja, ja tietyn metallin selektiivinen saostaminen hydroksidina tarjoaa omat haasteensa.



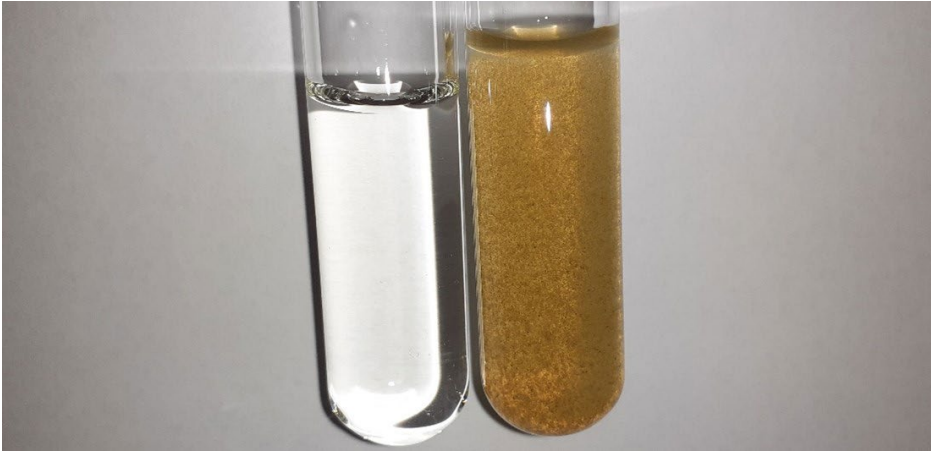
KUVA 1. Saostusta testataan laboriomiittakaavassa (kuva Janne Junninen).

Ammoniumtyppi ja fosfaatti pyritään saostamaan struviittina (kuva 2) käyttäen magnesiumia sisältäviä reagensseja. Magnesium muodostaa oikealla pH-alueella fosfaatin ja ammoniumin kanssa kiteistä struviittia, jota voidaan käyttää esimerkiksi hitaasti ravinteita vapauttavana lannoitteena (Lin ym. 2015).



KUVA 2. Pyyhkäisyelektronimikroskoopilla (SEM) otettuja kuvia struviitista 100-kertaisella (A, C) ja 500-kertaisella (B, D) suurennuksella (kuva Olga Pastushok).

Struviitin saostuminen vaatii otolliset olosuhteet, joissa on tarjolla riittävästi liukoista ammoniumtyyppiä ja fosfaattia. Jätevesilietteessä esiintyy runsaasti kalsiumia, joka saattaa estää struviittikiteiden muodostumista (Daneshgar ym. 2018). Muita haittaavia tekijöitä voivat olla korkea kiintoainepitoisuus ja alkaliteetti. Struviitin saostuminen on pH-riippuvaista. Saostuminen tapahtuu samalla alueella kuin esimerkiksi raudan saostuminen rautahydrioksidina. Toimivan koejärjestelyn suunnittelu onkin tärkeää saostusten onnistumiseksi ja lopputuotteiden puhtauden varmistamiseksi. Kiteytymisen mahdollistamiseksi näyteliuoksen olosuhteiden tulee täyttää tietyt vaatimukset. Tästä syystä myös lietteen esikäsittelyä haitta-aineiden poistamiseksi ja otollisten olosuhteiden varmistamiseksi tulee tutkia (kuva 3). Mahdollisuuksien mukaan hankkeen aikana kokeillaan myös struviitin sähkökemiallista saostusta magnesiumielektrodia käyttäen.



KUVA 3. Rejektiveden suodatus 0,45 µm:n suodattimen läpi poistaa tehokkaasti kiintoainesta (kuva Janne Junninen).

Struviitin saostusta tehdään jo teollisuudessa. Esimerkiksi Ostaran Pearl®-prosessi tuottaa Crystal Green -tuotenimellä struviittilannoitetta leijupetireaktorissa fosfaattipitoisesta vedestä lisäämällä veteen magnesiumia ja siemenkiteitä. Prosessi voidaan yhdistää esimerkiksi jätevedenpuhdistamon lietekäsittelyyn (Ostara Nutrient Recovery Technologies Inc).

LIETTEESTÄ BIOHIILTÄ JA MATERIAALIA 3D-TULOSTUKSEEN JA VESIEN SUODATUKSEEN

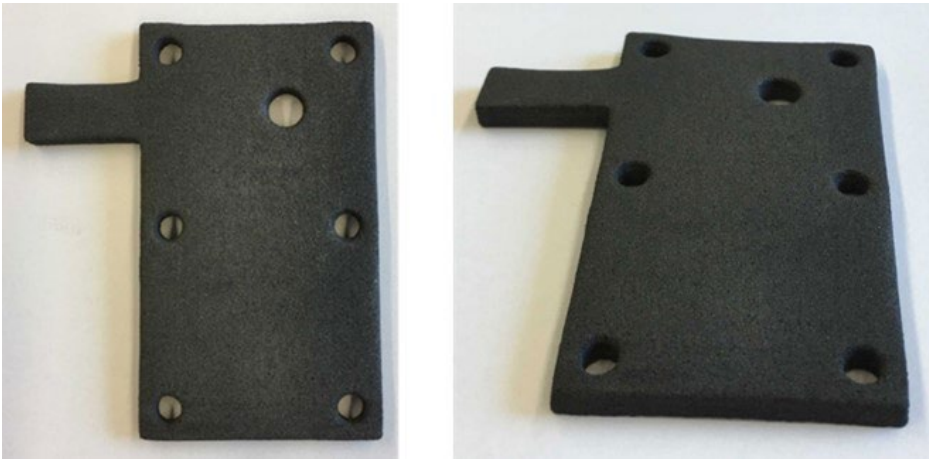
Jätevesilietteen kuivajakeesta voidaan tuottaa pyrolysoimalla biohiiltä (kuva 4). Biohiilellä on monia käyttösovelluksia muun muassa maanparannusaineena ja hiilen sidonnassa, mutta siitä voidaan tuottaa korkean jalostusasteen tuotteita myös esimerkiksi akkuteollisuuteen, 3D-tulostukseen ja suodatukseen.

Hankkeen toteutuksen aikana LUT-yliopisto kehittää erotusmenetelmää, jossa jätevesilietteen kuivajae ja nestejae saadaan eroteltua mahdollisimman tehokkaasti. Ravinteet ja metallit halutaan saada siirtymään nestejakeeseen niin, että kuivajae olisi mahdollisimman puhdasta hiiltä, josta voidaan pyrolysoimalla jalostaa korkealaatuista biohiilimateriaalia muun muassa korvaamaan kaivostoiminnan tuottamaa grafiittia akkumateriaaleissa.



KUVA 4. Lietteestä pyrolysoimalla valmistettua ja rikkihapolla käsiteltyä biohiiltä (kuva Olga Pastushok).

Biohiiltä voidaan hyödyntää myös 3D-tulostuksessa (kuva 5). Lisäämällä biohiiltä esimerkiksi biopohjaiseen muoviin voidaan lisätä materiaalin vahvuutta ja siten käyttömahdollisuuksia (Madhu ym. 2022, Diederichs ym. 2021, Umerah ym. 2020). LUT-yliopisto kehittää näitä materiaaleja. Xamkin osiossa testataan 3D-tulostusta filamenteilla, joihin on lisätty tai jotka on pinnoitettu biohiilellä. Xamkin testaukset tehdään kuluttajatason 3D-tulostimella.



KUVA 5. 3D-tulostettu nailonpohjainen komposiittielektrodi, joka sisältää 30 % grafiittia. Myös biohiiltä voidaan hyödyntää 3D-tulostuksessa. (kuva Olga Pastushok)

Tulostettuja hiilituotteita testataan suodatuskokeissa ravinteiden sekä erilaisten haitta-ainneiden poistossa vedestä. Biohiilimateriaalin laadulla ja ominaisuuksilla, kuten ominaispinta-alalla, on kuitenkin suuri merkitys siihen, kuinka tehokkaasti biohiili toimii suodatuksessa.

TULOKSENA KOKONAISVALTAINEN LIETTEENKÄSITTELYMENETELMÄ

Hankkeessa kehitetään uusi kokonaisvaltainen lietteenkäsittelymenetelmä ja tuotteistamiskonsepti, jossa lietteestä otetaan talteen ravinteet, metallit sekä hiili, josta jalostetaan korkealaatuisia hiilimateriaaleja akkuihin, vedenkäsittelyyn sekä 3D-tulostukseen. Uuden lietteen tuotteistamiskonseptin ja koelaitteiston lisäksi tuloksena odotetaan menetelmän laajempaa hyväksymistä erilaisten orgaanisten sivuvirtojen käsittelyyn. Hankkeessa tehdään tiivistä yhteistyötä Blue Economy Mikkeli (BEM) -klusterin kanssa.

Luonnonvarojen käytön kestävyttä edistetään käyttämällä sivuvirtoja raaka-aineiden lähteenä, jolloin raakamineraalien käyttöä voidaan vähentää. Tämä puolestaan pienentää maaperän ja vesistöjen saastumisriskiä. Taloudellisesta näkökulmasta on erittäin tärkeää, että omavaraisuutta kriittisten raaka-aineiden kannalta lisätään. Sivuvirtojen hyödyntäminen tuo taloudellista hyötyä sekä tuottajalle että loppukäyttäjälle. Paikallisen elinkeinorakenteen kestävä kehittäminen edistää puolestaan mahdollinen uusi liiketoiminta, joka voi liittyä sekä kierrätysmateriaalien tuottamiseen tai uusien tekniikoiden käyttöönottoon. Uusi konsepti erityisesti lietteen arvon nostamiselle tuo positiivista julkisuutta alueelle.

LÄHTEET

Daneshgar, S., Callegari, A., Capodaglio, AG. & Vaccari, D. The Potential Phosphorus Crisis: Resource Conservation and Possible Escape Technologies: A Review. Resources. 2018; 7(2):37. Saatavissa <https://doi.org/10.3390/resources7020037>

Diederichs, E., Picard, M., Chang, B.P., Misra, M. & Mohanty, A. 2021. Extrusion Based 3D Printing of Sustainable Biocomposites from Biocarbon and Poly(trimethylene terephthalate). Molecules 2021, 26, 4164. <https://doi.org/10.3390/molecules26144164>

Lehtoranta, S., Malila, R., Fjäder, P., Laukka, V., Mustajoki, J. & Äystö, L. 2021. Jätevesien ravinteet kiertoön turvallisesti ja tehokkaasti. Suomen ympäristökeskuksen raportteja 18/2021. PDF-dokumentti. Saatavissa <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-11-5390-7> [viitattu 9.11.2022]

Lin, H., Gan, J., Rajendran, A., Reis, C. E. & Hu, B. 2015. Phosphorus Removal and Recovery from Digestate after Biogas Production. In (Ed.), Biofuels - Status and Perspective. IntechOpen. Saatavissa <https://doi.org/10.5772/60474>

Madhu, N. R., Erfani, H., Jadoun, S., Amir, M., Thiagarajan, Y. & Chauhan, N. P. S. 2022. Fused deposition modelling approach using 3D printing and recycled industrial materials for a sustainable environment: a review. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 1-14.

Ostara Nutrient Recovery Technologies Inc. 2021. Prosessikuvaus. WWW-sivusto. Saatavissa <https://ostara.com/nutrient-recovery/nutrient-recovery-solutions/> [viitattu 9.11.2022]

Umerah, C. O., Kodali, D., Head, S., Jeelani, S. & Rangari, V. K. 2020. Synthesis of carbon from waste coconutshell and their application as filler in bioplast polymer filaments for 3D printing. Composites Part B: Engineering, 202, 108428. <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2020.108428>.

MEKSTIILI – TEHOKASTA TEKSTIILIKIERTOTALOUTTA ETELÄ-SAVOON

Kati Jordan & Hanne Soininen & Johanna Järvinen & Jonne Gråsten & Vesa Nyrhinen

Tekstiilien kiertotalous on murroksessa. Kesällä 2018 EU:ssa hyväksyttiin jätessäädöspaketti, jolla päivitettiin yhteensä kuutta jätealan direktiiviä. Direktiivimuutosten tavoitteena on vähentää jätteen määrää, lisätä kierrätystä ja edistää kiertotaloutta Euroopassa. Eri jätelajien erilliskeräystä tehostetaan vaiheittain, ja tekstiilijätteen osalta erilliskeräysvelvoite astuu voimaan vuoden 2025 alussa koko EU:n alueella. (HE 40/2021) Suomessa liikkeelle on lähdeetty etupainotteisesti. Joulukuussa 2021 astui voimaan uusi jäteasetus, joka velvoittaa kuntia järjestämään tekstiilijätteelle alueellisen vastaanoton jo kaksi vuotta EU-alueen tavoiteaikataulua aikaisemmin, viimeistään 1.1.2023 alkaen. (Valtioneuvoston asetus jätteistä 18.11.2021/978)

KOHTI TEHOKKAAMPAA TEKSTIILIKIERTOTALOUTTA

Tekstiilien tehokkaampaa kierrätystä on valmisteltu Suomessa jo useamman vuoden ajan. Poistotekstiilien keräystä ja lajittelua on pilotoitu useiden jätelyhtiöiden toimialueilla ja marraskuussa 2021 Paimiossa avattiin poistotekstiilien kiertotalouslaitos. Suunnitteilla on täysimittaisen poistotekstiilien jalostuslaitoksen rakentaminen Turun Topinpuistoon vuoden 2025 loppuun mennessä. (Pokela & Garton 2021)

Etelä-Savossa valmistettavaa työtä on tehty Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulun Mekstiili-suunnitteluhankkeessa, jossa innovoitiin uusia toimintatapoja poistotekstiilien keräykseen, lajitteluun ja monipuoliseen hyödyntämiseen yhteistyössä paikallisten yritysten ja yhdistysten kanssa. Hanketta rahoitti Etelä-Savon maakuntaliitto maakunnan omaehtoisen kehittämisen määrärahasta. (Mekstiili suunnitteluhanke 2022) Vuonna 2022 käynnistyneessä Mekstiili – Tehokasta tekstiilikiertotaloutta Etelä-Savoon -hankkeessa pilotoidaan uusia toimintamalleja kiertotalouden edistämiseksi (kuva 1). Hanke on Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulun, Mikkelin kehitysyritys Miksei Oy:n, Metsäsairila Oy:n ja ViaDia Mikkeli ry:n yhteinen ryhmähanke. Hanketta rahoittaa Etelä-Savon maakuntaliitto Euroopan aluekehitysrahastosta, ja sen toteutusajaksi on 1.11.2022–31.10.2024.



KUVA 1. Mekstiili-hankkeessa kehitetään tehokasta tekstiilikiertotaloutta Etelä-Savoon (kuva Manu Eloaho).

MEKSTIILISSÄ PILOTOIDAAN UUSIA KÄYTÄNTÖJÄ

Toimiva tekstiilikiertotalous vaatii kustannustehokkaita keräys- ja lajitteluprosesseja sekä kerätyn materiaalin monipuolista hyödyntämistä. Mekstiili-hankkeessa kehitetään pilotointien avulla keräyksen ja lajittelun toimintamallit, jotka soveltuvat erityisesti Etelä-Savoon ja ovat monistettavissa myös muille alueille. Lisäksi luodaan uusia avauksia ja tuoteinnovaatioita sekä kehitetään liiketoimintaa poistotekstiilimateriaalin entistä tehokkaampaan hyödyntämiseen yhteistyössä yritysten kanssa. Viestintä ja tiedottaminen ovat keskeisessä roolissa koko hankkeen ajan. Hankkeen työpaketit on esitelty kuvassa 2.



KUVA 2. Työpaketit hankkeessa Mekstiili – Tehokasta tekstiilikiertotaloutta Etelä-Savoon

Työpaketissa 1 pilotoidaan poistotekstiilien keräystä erityyppisissä keräyspisteissä sekä testataan eri keräysvälineiden toimivuutta, jotta voidaan taata tekstiilimateriaalin korkea laatu. Lisäksi suunnitellaan keräykselle ympäristöystävällinen ja kustannustehokas logistiikka. Työpaketissa 2 kehitetään poistotekstiilien lajitteluprosessi turvalliseksi ja tehokkaaksi sekä jätteenkäsittelyn etusijaperiaatteen mukaiseksi. Työpaketissa 3 toteutetaan rohkeita innovaatiokokeiluja erityisesti vaikeammin hyödynnettävillä tekstiilimateriaaleilla ja korkeamman lisäarvon lopputuotteilla. Työpaketissa 4 tarkastellaan innovaatioita taloudellisen kannattavuuden ja liiketoiminnan toteuttamiskelpoisuuden näkökulmasta sekä selvitetään uusien tuoteaihioiden kaupallistamismahdollisuuksia erityisesti Etelä-Savon alueella. Hankkeen vuorovaikutteisen viestinnän avulla edistetään yhteistyötä ja myös kuluttajia osallistetaan prosessien kehittämiseen jo suunnitteluvaiheesta alkaen.

VAIKUTTAVAA JA VUOROVAIKUTTEISTA VIESTINTÄÄ

Poistotekstiilikeräys on vielä uutta niin kuluttajille kuin muillekin toimijoille. Uudenlainen tekstiilienkierrätys on vaatinut myös tarkempaa käsitteiden määrittelyä. Poistotekstiili-termille ei ole virallista määritelmää, mutta tekstiilikiertotaloudessa urauurtavaa työtä tehneessä Telaketju-hankkeessa termi on määritelty seuraavasti: Poistotekstiili on omistajalleen tarpeetonta tekstiiliä, joka sisältää sekä käyttökelpoiset, uudelleenkäytettävät tekstiilit että tekstiilijätteet eli käytöstä poistetut tekstiilit. (Dahlbo & Salmenperä 2022) Poistotekstiili voidaan jakaa myös kuluttajapoistotekstiiliin sekä yritysten ja yhdistysten poistotekstiiliin. Kuvassa 3 on esitelty Mekstiili-suunnitteluhankkeessa hahmoteltu kaavio poistotekstiilien jaottelusta.



KUVA 3. Poistotekstiili voidaan luokitella useisiin eri jakeisiin (Jordan & Sourander 2022).

Uusi jätelainsäädäntö velvoittaa kuntia järjestämään alueellisen vastaanoton nimenomaan tekstiilijätteelle. Keräysohjeistukset kuitenkin vaihtelevat eri puolilla Suomea, ja monilla alueilla keräys toteutetaan laajempaan poistotekstiilien keräyksenä. Lajittelussa erotellaan uudelleenkäytettävät tekstiilit ja materiaalikierrätykseen sopivat jakeet. Tätä esikäsittelyvaihetta voidaan pitää uudelleenkäytön valmisteluna. (Dahlbo & Salmenperä 2022)

Uudet käsitteet ja kirjavat käytännöt asettavat omat erityishaasteensa kuluttajaohjeistukselle ja muulle viestinnälle. Mekstiili-hankkeessa panostetaan monipuoliseen viestintään ja aktiiviseen vuoropuheluun eri sidosryhmien, kuten kuluttajien, yritysten, yhdistysten ja oppilaitosten kanssa. Hankkeen aikana luodaan viestintämateriaaleja ja kuluttajaohjeistuksia sekä järjestetään webinaareja ja viestintäkampanjoita, joiden avulla lisätään tietoisuutta tekstiilikiertotalouden murroksesta. Viestintätoimien vaikutusta kerätyn poistotekstiilin laatuun ja määrään arvioidaan aktiivisesti ja viestintää kehitetään hankkeen aikana saatujen kokemusten ja palautteen pohjalta. Hankkeessa luodut viestintämateriaalit ovat hyödynnettävissä myös hankkeen päättymisen jälkeen, ja niiden kautta on mahdollista jatkaa tehokasta viestintää ja ohjeistusta tekstiilikiertotalouden edistämiseksi. Lisätietoja hankkeesta on saatavilla osoitteesta www.xamk.fi/mekstiili.

UUTTA LIIKETOIMINTAA JA LUONNONVAROJEN KESTÄVÄMPÄÄ KÄYTTÖÄ

Tekstiilikiertotalouteen sisältyy vielä paljon hyödyntämättömiä mahdollisuuksia, joilla voidaan edistää kiertotalousliiketoimintaa ja luonnonvarojen kestävämpää käyttöä. Mekstiili-hankkeen avulla luodaan tehokkaita ja monistettavia tekstiilien kierrätyksen toimintamalleja, joilla voidaan nostaa tekstiilien kierrätysastetta ja edistää uusien kiertotaloustyöpaikkojen syntymistä. Sekajätteeseen päätyvän tekstiilijätteen määrä vähenee merkittävästi ja materiaalit saadaan uudelleen kiertoön, mikä edesauttaa Suomea pääsemään lähemmäksi EU:n asettamia kierrätystavoitteita. Aukkaiden ja kuluttajien tietoisuus tekstiilikiertotaloudesta lisääntyy, ja se voi vaikuttaa myös tekstiileihin liittyviin kulutustottumuksiin ja tekstiilien käyttöön pitenemiseen.

Mekstiili-hanke tukee Etelä-Savon alueen yritysten vihreää siirtymää sekä parantaa yritysten kilpailukykyä ja elinvoimaa edistämällä uutta kiertotalousliiketoimintaa. Lisäksi selvitetään suurempien strategiakokonaisuuksien mahdollisuuksia, kuten tekstiililajittelukeskuksen perustamista ja EcoSairilan kiertotalouden kehittämälustan entistä tehokkaampaa hyödyntämistä. Hankkeessa tehdään laajaa yhteistyötä yritysten, yhdistysten, järjestöjen ja oppilaitosten kanssa. Maakunnalle avautuu tilaisuus profiloitua tekstiilikiertotalouden vahvana kansallisena osaajana ja kiinnostavana yhteistyökumppanina.

LÄHTEET

Dahlbo, H. & Salmenperä, H. 2022. Mitä on poistotekstiili? Telaketju-hanke. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://telaketju.turkuamk.fi/blogi/mita-on-poistotekstiili-2/> [viitattu 11.11.2022].

HE 40/2021. Hallituksen esitys eduskunnalle laeiksi jätelain ja eräiden siihen liittyvien lakien muuttamisesta.

Jordan, K. & Sourander, M. 2022. Poistotekstiilien kierrätys uudistuu. Teoksessa Jordan, K. & Sourander, M. (toim.) Mekstiili-suunnitteluhanke. Kohti resurssiviisasta poistotekstiilien hyödyntämistä. Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu, 9–12. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://urn.fi/URN:ISBN:978-952-344-416-4> [viitattu 11.11.2022].

Mekstiili suunnitteluhanke. 2021. Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.xamk.fi/tutkimus-ja-kehitys/mekstiilisuunnitteluhanke/> [viitattu 10.11.2022].

Poistotekstiilin lajitteluohjeet. s.a. Lounais-Suomen Jätehuolto. Poistotekstiilin jalostuslaitos. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://poistotekstiili.lsjh.fi/mita-on-poistotekstiili/> [viitattu 10.11.2022].

Pokela, O. & Garton A. 2021. Poistotekstiilinkeräyksen valtakunnallinen tilanne ja kehittyminen. Kuluttajapoistotekstiilistä kierrätysraaka-aineeksi. Lounais-Suomen Jätehuolto Oy. PDF-dokumentti. Saatavissa: https://www.xamk.fi/wp-content/uploads/2021/12/pokelaoskari_gartonanna_13122021_lsjh.pdf [viitattu 10.11.2022]

Valtioneuvoston asetus jätteistä 18.11.2021/978.

ECOSAIRILAN RAKENTUMASSA UUSI KIERTO- JA BIOTALOUDEN KEHITTÄMISYMPÄRISTÖ

Hanne Soininen & Tiina Saario & Salla Pulliainen & Jussi Konttila &
Aki Heinonen & Ville Kakkonen & Juha Luostarinen & Mari Tarkkonen

Mikkelin EcoSairilaan on rakenteilla uusi kehittämis- ja tutkimusympäristö Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulun ja Metsäsairila Oy:n yhteistyönä. Kokeiluympäristö muodostuu Xamkin biokaasukontista ja Metsäsairila Oy:n mädätteiden tuotteistamisympäristöstä. BioLuuppi-ympäristö mahdollistaa biokaasualan kansallisen ja kansainvälisen tason yritysten ja tutkimuslaitosten kehittämisympäristön ja -verkoston muodostumisen Etelä-Savoon. Kokeiluympäristön rakentaminen mahdollistuu kahden rinnakkaishankkeen yhteistyönä. BioCir- ja BioLuuppi-hankkeet saivat yhteensä yli 1,1 miljoonan euron rahoituksen Etelä-Savon ELY-keskukselta Euroopan aluekehittämisen rahastosta (EAKR). Hanketta rahoittavat myös Etelä-Savon Energia Oy, Suur-Savon Energiasäätiö sr, BioHauki Oy ja Juvan Bioson Oy. Lisätietoa www.xamk.fi/bioluuppi.

BIOKAASULAITOSTEN PROSESSIEN OPTIMOINTIA

EcoSairilaan rakentuvassa BioLuuppi-kokeiluympäristössä voidaan testata menetelmiä, joilla parannetaan biokaasulaitosten energiatehokkuutta ja kannattavuutta. Maatalousvaltaiselle maakunnalle uusi kokeiluympäristö tuo mahdollisuuksia myös maatalouden sivuvirtojen ja biojätteiden hyödyntämisessä.

Xamkin biokaasukontti on ollut käytössä jo kesäkuusta 2022 alkaen. Kontin rakentaja on laukaalainen Metener Oy. Biokaasukontin avulla muun muassa uusia kokeiluja ja testauksia voidaan tehdä hallitummin, jolloin niiden käyttöönotto täyden mittakaavan biokaasulaitoksissa on riskittömämpää ja kustannustehokkaampaa.

Metener Oy:llä on kahden vuosikymmenen kokemus täyden mittakaavan biokaasulaitosten rakentamisesta ja myös useita aiemmin toimitettuja tutkimusympäristöjä biokaasuntuotannon kehittämiseen. Metener Oy toteutti BioLuuppi-kokonaisuuden niillä periaatteilla, että tutkimusympäristöllä pystytään jäljittelemään täyden mittakaavan prosesseja mahdollisimman tarkasti ja käyttäjälleen helposti ja turvallisesti.

Biokaasulaitoksille uusi ympäristö tarjoaa alustan toiminnan kehittämiseen (kuva 1). Ympäristössä toteutettavien kokeilujen tuloksena saadaan uutta tietoa muun muassa biokaasulaitosten optimoinnista ja haitta-aineiden vaikutuksesta biokaasuprosessiin.



KUVA 1. Biokaasukontti Metsäsairilan lajittelu- ja kierrätyskeskuksessa (kuva Hanne Soininen).

UUDENLAISIA KIERRÄTYSLANNOITTEITA ORGAANISISTA MATERIAALEISTA

Biokaasulaitosten tuotantoprosessissa syntyvä mädäte kannattaa tuotteistaa entistä tehokkaammin turvallisiksi, toimiviksi ja kannattaviksi kierrätyslannoitteiksi. Metsäsairila Oy testaa rakenteilla olevassa ympäristössä jatkossa muun muassa erilaisia menetelmiä biokaasulaitoksen ravinnepitojen jalostamiseksi korkeamman jalostusasteen kierrätyslannoitteiksi.

BioLuuppi-kokeiluympäristön tuotteistamisosion rakentajaksi valittiin puumalalainen Nanopar Oy. Ympäristössä tullaan hyödyntämään yrityksen kehittämää Paskier®-Prosessia. Paskier®-Prosessissa orgaaniset lietteet tai mädätejäännökset kuivataan tehokkaasti, minkä jälkeen ne murskataan ja niihin sekoitetaan tarvittaessa ravinteita. Tämän jälkeen lopputuote vielä rakeistetaan ja pakataan. Kuivauksessa käytetään patentoitua, vakuumiavusteista PSS-Nanopar keskiaallon infrapunakuivainta.

KOKEILU- JA TUTKIMUSYMPÄRISTÖN KOKEILUT KÄYNNISSÄ

Uudenlainen kokeilu- ja tutkimusympäristö vahvistaa Etelä-Savon kierto- ja biotalousosaa-
mista. Ympäristössä voidaan pilot-mittakaavassa kokeilla erilaisia raaka-aineita, tukimateri-
aaleja, sekoitusmenetelmiä ja muita prosessiin vaikuttavia tekijöitä hallituissa olosuhteissa
vaarantamatta varsinaisen biokaasulaitoksen prosessin toimintaa.

Biokaasukontissa on tehty jo ensimmäiset jatkuvatoimiset testiajot sekä kuiva- että märkä-
reaktoreilla. Koetoiminta jatkuu ympäristössä yhteistyössä alueen biokaasulaitosten kanssa.
Kokeita tukemaan tehdään myös rinnalla laboratoriomittakaavan kokeita Xamkin Mikkelin
ympäristölaboratoriossa.

Mädätteen jatkojalostuskokonaisuuden valmistuttua vuoden 2023 alussa sillä testataan Ete-
lä-Savon alueella olevien biokaasulaitosten mädätteiden jatkojalostusvaihtoehtoja. Tuloksia
vertaamalla pyritään löytämään optimaalisimmat menetelmät ja vaihtoehdot. Tämä pitää
sisällään erilaisia koeajoja hankittavalla laitteistolla ja siihen mahdollisesti tulevilla lisäyk-
sellä. Näiden rinnalla tehdään isomman mittakaavan vertailua Metsäsairilan lajittelu- ja
kierrätyskeskukselle tulevilla materiaaleilla. Tarkoituksena on testata erilaisia materiaaleja
ja näiden sekoituksia erilaisissa koeajoissa. Tavoitteena on löytää teknistaloudellisesti toteu-
tettavimmat menetelmät Etelä-Savon alueella syntyvien mädätteiden ja muiden orgaanisten
virtojen jatkojalostamiseksi korkeampaan jalostusasteeseen.

KENTTÄMITTARIN LUOTETTAVUUS KAATOPAIKAN SUOTOVEDEN HAPPITOISUUDEN MITTAAMISESSA

Salla Pulliainen & Jussi Konttila & Aki Mykkänen

Devo – Kaatopaikan suoto- ja hulevesien uudet käsittelymenetelmät hankkeessa monitoroidaan kaatopaikan suotoveden ominaisuuksia. Laboratoriossa analysoitavien vesinäytteiden lisäksi suotoveden laatua voidaan tarkastella kenttäolosuhteissa erilaisilla kenttämittareilla, jolloin tulokset veden laadusta ovat saatavilla välittömästi. Devo-hankkeessa käytetään YSI ProDSS -moniparametrimittaria, jonka anturit mahdollistavat muun muassa veden happipitoisuuden, happamuuden ja sähkönjohtokyvyn mittaamisen jo kenttäkohteessa. Kenttämittarilla mitatut happipitoisuustulokset eivät täysin korvaa laboratorioanalyysin todennettuja happipitoisuuden arvoja, mutta pitoisuuksien mittaaminen yhtäaikaaisesti vesinäytteenoton kanssa antaa kuvaa kenttämittarin tulosten luotettavuudesta ja mahdollistaa kenttämittarin käytön sen tarkkuudelle riittävässä veden laadun mittauksissa. Devo-hanketta rahoittavat Etelä-Savon maakuntaliitto Euroopan aluekehitysrahastosta ja Metsäsairila Oy. Hanke toteutetaan yhteistyössä Mikkelin kehitysyritys Miksei Oy:n kanssa.

RISTIINAN VANHAN KAATOPAIKAN SUOTOVESIEN BIOSUODATUSJÄRJESTELMÄ

Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulun vuosina 2019–2021 toteuttamassa Hulevesien käsittelyn T&K Ympäristö – Huky-hankkeessa Ristiinan suljetun kaatopaikan suotoveden puhdistukseen kehitetyn biosuodatusjärjestelmän silloisella raudan esipuhdistusjärjestelmällä päästin noin 70–80 prosentin raudanpoistoon. Saavutettu reduktio ei kuitenkaan ollut riittävä tavoitteena olleen nitrifikaatioprosessin käynnistymiseksi, minkä vuoksi todettiin tarve tehostaa raudanpoistoa ja nostaa suotoveden happipitoisuutta typenpoiston käynnistymiseksi (Mykkänen 2021).

Vuonna 2021 osana Deve – Demonstraatioympäristö kaatopaikan suoto- ja hulevesien ympäristökuormituksen vähentämiseksi -hanketta Ristiinan suljetun kaatopaikan biosuodatinjärjestelmää päivitettiin esipuhdistimella, ja tavoitteena on vähentää suotoveden rautapitoisuutta yli 90 prosenttia. Järjestelmässä käsittelemätöntä kaatopaikan suotovettä johdetaan esipuhdistimeen pumppaamalla, minkä jälkeen siihen lisätään happea kuplitta-

malla. Lisätty happi alkaa reagoida suotoveden kahdenarvoisen ferroionin kanssa, jolloin se hapettuu kolmenarvoiseksi ferri-ioniksi ja lopulta hydrolysoituu ferrihydroksiyhdraatiksi. Tämä ferrimuotoinen rauta on heikosti liukenevaa, jolloin se saadaan vedestä pois suodattamalla tai laskeuttamalla se esimerkiksi Ristiinan suotoveden puhdistusjärjestelmässä esipuhdistimen pohjalle (Karttunen ym. 2004). Raudanpoiston tehostamisen tavoitteena on taata hapen riittävyys biologisen typenpoiston käynnistymiseksi sekä estää raudan aiheuttamaa suodatusjärjestelmän tukkeutumista.

Ristiinan biosuodatusjärjestelmän toiminta perustuu luonnossa tapahtuviin prosesseihin, kuten raudan saostumiseen sekä typen nitrifikaatioon ja denitrifikaatioon (taulukko 1). Nämä prosessit ovat riippuvaisia veden happipitoisuudesta, jota seuraamalla on mahdollista tarkkailla koko prosessin toimivuutta. Biosuodatuslaitteiston toiminnassa esimerkiksi järjestelmästä poistuvan veden tulisi olla täysin hapetonta: mikäli järjestelmästä poistuvassa vedessä havaitaan happea, tiedetään, ettei biosuodatusprosessi toimi kunnolla. Happipitoisuuden seuraaminen on erityisen hyödyllistä niin sanotuilla kenttämittareilla, joilla veden happipitoisuus voidaan analysoida välittömästi paikan päällä.

TAULUKKO 1. Biosuodatusjärjestelmän prosessikuvaus sekä happipitoisuuden ja typen olomuotojen teoreettinen tila eri vaiheissa.

| Prosessin kohta | Tuleva, käsittelemätön suotovesi | Esipuhdistus (raudanpoisto) | Lisähapetus | Bio-suodatus | Järjestelmästä poistuva suotovesi |
|-----------------------------|---|---|---|---|--|
| Prosessikuvaus | Käsittelemätön suotovesi sisältää runsaasti ammoniumtyyppiä ja rautaa | Raudan saostumiseksi veteen lisätään happea kuplittamalla. Veden raudtapitoisuus vähenee > 90 % | Veteen lisätään raudan saostumiseen kulu- neen hapen korvaamiseksi lisää happea. Nitrifikaatio käynnistyy | Nitrifikaatioprosessi muuntaa vedessä olevaa ammoniumtyyppiä nitriitiksi ja nitraatiksi. Denitrifikaatio muuntaa nitraatin ja nitriitin typpikaasuksi | Poistuvassa vedessä ei ole typpeä ja vesi on hapetonta. Jos poistovedessä on happea tai ammoniumia, tiedetään prosessin toimivan puutteellisesti |
| Suotoveden happipitoisuus | Matala | Esipuhdistuksen alkupuolella korkea, loppupuolella matala | Korkea | Nitrifikaatio hapellinen, denitrifikaatio hapeton | Hapeton |
| Typen teoreettinen olomuoto | Ammonium | Ammonium | Ammonium, nitrifikaation myötä myös nitraatti ja nitriitti | Nitraatti, nitriitti (vedessä). Typpikaasu N ₂ prosessin jälkeen | Typpi siirtynyt vedestä ilmakehään typpikaasuna |

BIOSUODATUSLAITTEISTON HAPPIPITOISUUDEN SEURAAMINEN

Devo-hankkeessa seurattiin syksyllä 2021 Ristiinan biosuodatusjärjestelmän uuden raudan esipuhdistusyksikön toimintaa raudanpoiston ja hapetuksen riittävyden todentamiseksi. Mittausjakson aikana järjestelmän esipuhdistimen toimintaa tarkasteltiin näytteenotoin ja kenttämittauksin YSI ProDSS kenttämittarilla. Näytteenotot ja mittaukset otettiin tulevasta suotovedestä ja esipuhdistimesta poistuvasta vedestä.

Laboratoriossa tehtävää happianalyysiä varten vesinäyte otetaan erityiseen happinäytteelle sopivaan lasipulloon, jonne vesi lasketaan näytteenottopisteestä (kuva 1). Koska YSI ProDSS -kenttämittarin sondi tulee mittausta varten upottaa kokonaan veteen, ei kenttämittarilla voida suorittaa mittausta suoraan näytteenottopisteestä. Kenttämittausta varten suotovettä lasketaan noin kahden litran astiaan, jonne sondi upotetaan. Kenttämittarilla saatuja tuloksia tulee arvioida varoen, sillä laskettaessa näyte astiaan näyte hapettuu ja tulos on siten menetelmästä johtuen suurempi kuin vesianalyysillä todettu happipitoisuus (kuva 2).



KUVA 1. Suotoveden happipitoisuutta seurataan laboratoriossa tehtävillä analyyseillä (kuva Salla Pulliainen).

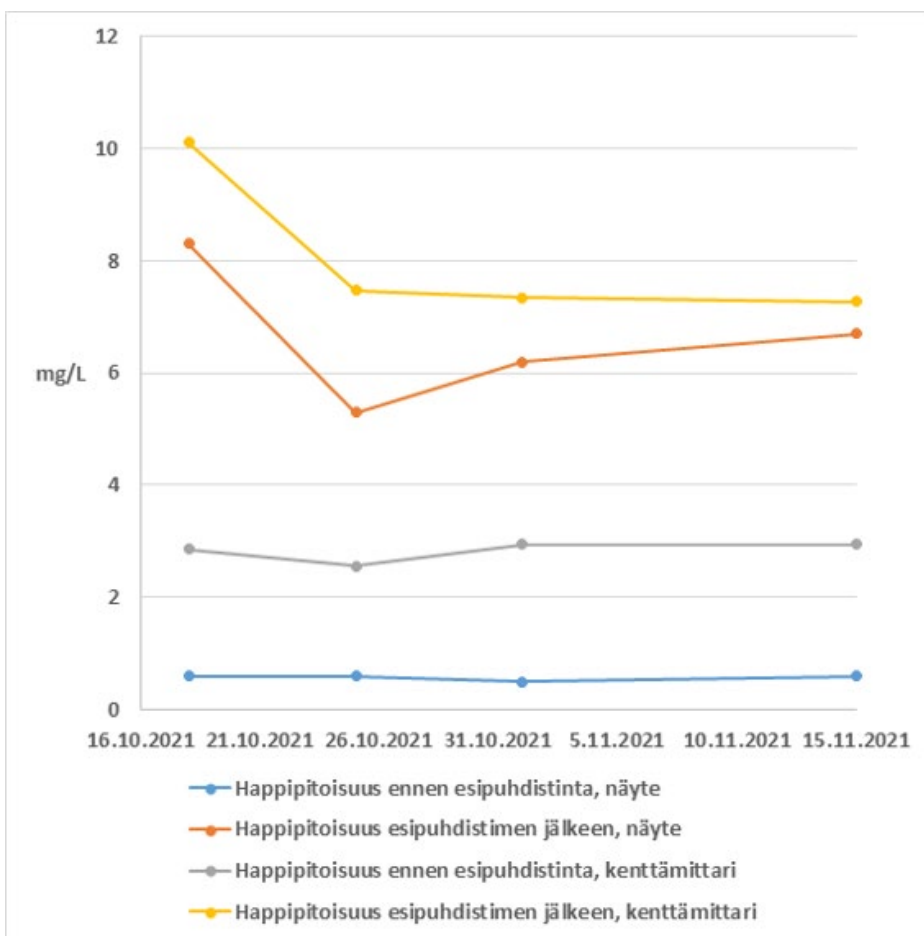


KUVA 2. Biosuodatusjärjestelmässä puhdistettavan veden happipitoisuutta seurataan Ysi ProDSS -kenttämittarilla (kuva Salla Pulliainen).

HAPPIPITOISUUDEN KENTTÄMITTAUSTEN JA LABORATORIOANALYYSITULOSTEN VASTAAVUUS

Ristiinan suljetun kaatopaikan suotoveden happipitoisuuden syksyllä 2021 toteutetussa seurannassa kenttämittarilla mitatut happipitoisuudet vastasivat trendiltään hyvin vesianalyysien tuloksia (kuva 3). Tulevan suotoveden happipitoisuus vesinäytteissä oli matala, 0,5–0,6 mg/L, ja kenttämittarilla mitattuna 2,6–3,0 mg/L. Tulevan suotoveden mittaus suoritettiin kenttämittarilla kuvan 2 astiaan, johon näyte laskettiin tulokaivoon laskevasta putkesta. Laskettaessa näyte astiaan vesi hapettuu hieman, mutta happipitoisuus on silti kenttämittarilla mitattuna matala. Tuloksia tarkastellessa on huomioitava, että ProDSS-mittarin happianturin mittauserävarmuus kasvaa matalissa happipitoisuuksissa.

Esipuhdistimen jälkeen otettujen suotovesinäytteiden ja vedestä toteutettujen kenttämittausten happipitoisuuksien tulokset olivat samansuuntaisia. Vesinäytteillä happipitoisuudet suotovedessä olivat 5,3–8,3 mg/L ja kenttämittarilla 7,3–10,1 mg/L. Kenttämittausmenetelmän aiheuttama suotoveden hapettuminen näkyy kuvaajassa vesinäytteitä korkeampana happipitoisuutena. Kuvaajien trendit ovat kuitenkin samansuuntaisia molemmissa näytepisteissä vesinäytteillä ja kenttämittarilla tarkasteltuna (kuva 3).



KUVA 3. Suotoveden happipitoisuus ennen ja jälkeen esipuhdistimen kenttämittarilla mitattuna ja vesinäytteistä analysoituna loka–marraskuussa 2021. Vesinäytteet analysoitiin Kymen Ympäristölaboratorio Oy:ssä.

KENTTÄMITTAUKSET TEHOSTAVAT BIOLOGISTEN PROSESSIEN TARKKAILUA

Ristiinan suljetun kaatopaikan suotoveden happipitoisuus oli vuoden 2021 seurantajaksolla YSI ProDSS -kenttämittarilla mitattuna korkeampi kuin vesinäytteistä laboratorioanalyysien määritetty happipitoisuus. Tähän vaikutti muun muassa kenttämittauksessa käytettävä menetelmä, jossa astiaan laskettu vesinäyte hapettuu. Vesinäytteiden laboratorioanalyysillä saadaankin tarkempaa ja luotettavampaa kuvaa suotoveden happipitoisuudesta prosessin eri vaiheissa. Kenttämittarin avulla on kuitenkin mahdollista saada nopeammin ja kustannustehokkaammin tarkkaa kuvaa prosessin toiminnasta, sillä kenttämittaus mahdollistaa tiedon tehokkaan keräämisen reaaliajassa. Kenttämittaus soveltuukin hyvin biologisten prosessien eri vaiheiden ja happipitoisuuden trendin seuraamiseen, jolloin pääasiallinen

seurannan kohde on veden happipitoisuuden väheneminen ja kasvaminen. Kenttämittauksilla pystytään osoittamaan happea kuluttavat ja sitä lisäävät prosessin vaiheet ja näin ollen todentamaan biologisten prosessien toimivuuden edellytyksiä. Vaikka kenttämittareilla saadaan luotua helposti ja kustannustehokkaasti paljon mittauksia ja dataa näytteenottoihin verrattuna, ovat näytteenottamalla saadut tulokset aina laadukkaampia ja luotettavampia standardoitujen menetelmien vuoksi. Kenttämittareilla saatuja tuloksia tuleekin aika ajoin varmentaa näytteenotoin ja laboratorioanalyysin saaduilla tuloksilla.

LÄHTEET

Mykkänen, A. 2021. Hulevesien käsittelyn T&K-ympäristö. Xamk kehittää 161. Kaakois-Suomen ammattikorkeakoulu.

Karttunen, E., Tuhkanen, T. & Kiuru, H. 2004. RIL 124-2 Vesihuolto II, Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry, Helsinki, 684 s.

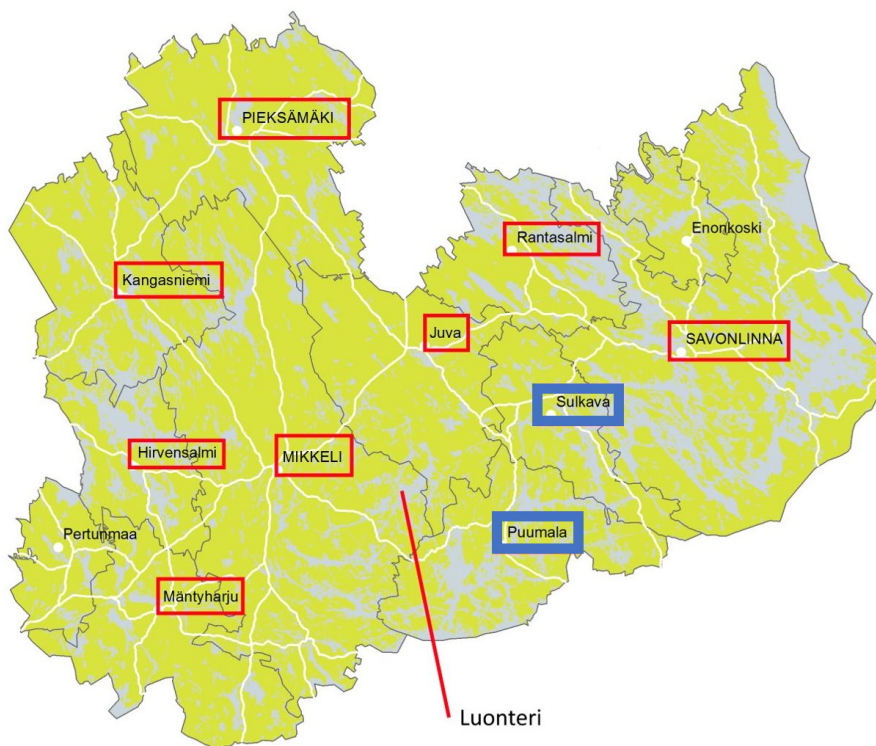
MIKROMUOVI- JA PFAS-YHDISTETUTKIMUSTA ETELÄ-SAVON VESISTÖISTÄ

Aki Mykkänen & Niina Laurila

Etelä-Savosta tulee monelle mieleen maakunnan lukuisat vesistöt. Kukapa ei tunnista Suomen laajinta vesistöaluetta Saimaata? Alueelle sijoittuu myös kaunis Puula. Maakunnan vesistöt ovatkin pääosin erittäin hyvässä kunnossa, ja tässä tilassa ne haluttaan myös pitää. Vesistöihin huuhtoutuu hule- ja sadevesien mukana haitta-aineita, kuten ravinteita, raskasmetalleja ja öljyä. Haitta-aineiden lisäksi huuhtoutuu myös muovia. Sadannan on arvioitu lisääntyvän ilmaston lämpenemisen myötä, mikä tulee näkymään huuhtoutumien kasvuna. WaterPlus – Vesistöjen puhtautta edistämässä uusin menetelmin -hankkeen tavoitteena on kehittää vesistöihin kohdistuvien, hulevesistä peräisin olevien haitta-aineiden, erityisesti mikromuovien analysointia ja monitorointia. WaterPlus-hanketta rahoittaa Etelä-Savon ELY-keskus Euroopan aluekehitysrahastosta. Hanketta toteuttavat Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu yhdessä Suomen ympäristökeskuksen kanssa.

NYKYTILASELVITYS ETELÄ-SAVON VESIEN TILASTA

Osana WaterPlus-hanketta Etelä-Savon alueelta tehdään mikro- ja makromuovien sekä haitta-aineiden osalta nykytilaselvitys. Tehtävään kartoitukseen valikoitui Etelä-Savon alueelta kymmenen kaupunki- ja kuntataajamaa, joihin tunnistettiin normaalia suurempi hulevesien aiheuttama haitta-ainekuormitus. Kohdealueita ovat Mikkeli, Savonlinna, Pieksämäki, Hirvensalmi, Kangasniemi, Rantasalmi, Mäntyharju, Juva, Puumala sekä Sulkava. Lisäksi kontrollikohteeksi valikoitui Saimaan Luonteri luonnonsuojelustatuksensa ja ihmisasutukseen pitkän etäisyyden takia. Kaikista näistä kohteista otettiin haitta-ainenyytteitä sekä mikromuovinäytteitä muualta paitsi Sulkavalta ja Puumalasta. Valituilla alueilla saadaan kattava yleiskuva Etelä-Savon alueen pintavesistä (kuva 1).



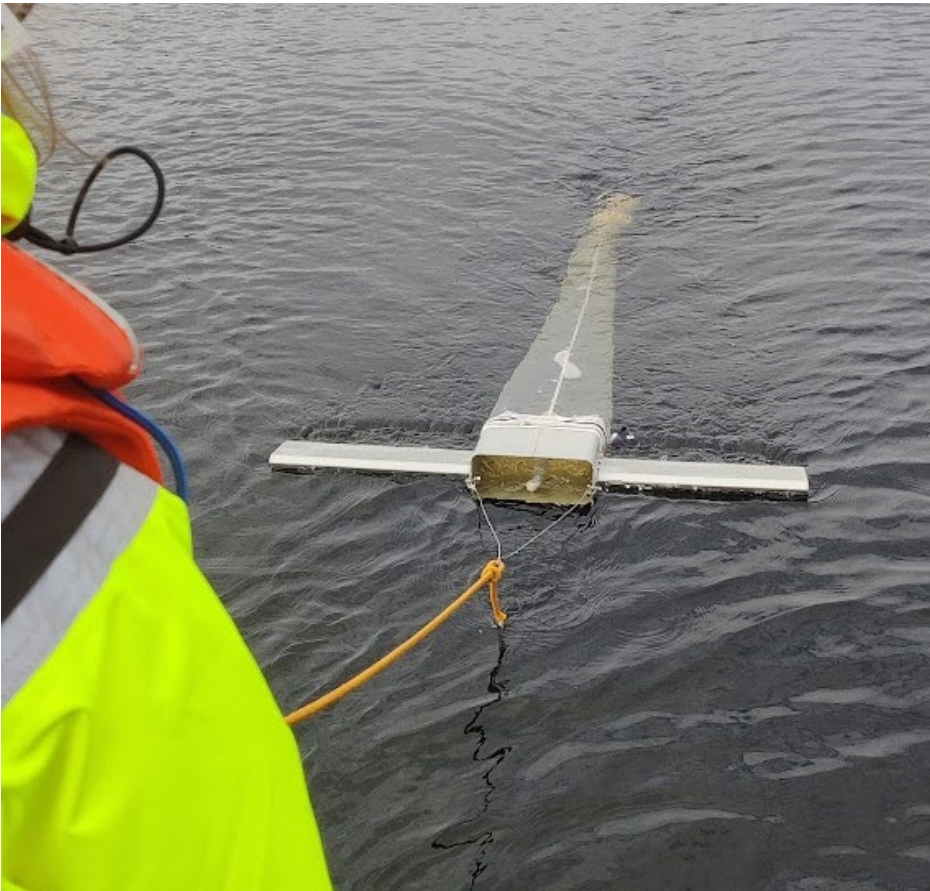
KUVA 1. Näytteenottojen kymmenen kohdealuetta Etelä-Savossa sekä Luonterin kontrollialue. Punaisella merkityistä kohteista otettiin mikromuovi- sekä haitta-ainenäytteet ja sinisellä merkityistä (Sulkava ja Puumala) pelkästään haitta-ainenäytteet (kuva Etelä-Savon maakuntaliitto, muokkaukset Aki Mykkänen).

MIKROMUOVINÄYTTEENOTOT PINTAVESISTÄ JA RANTAHIEKASTA

Mikromuovien ympäristönäytteenotto on viime vuosikymmenellä noussut kiinnostavaksi tutkimuskohteeksi ympäri maailmaa sekä Suomea. Tutkimusalue on uusi, joten mikromuovien näytteenottoon ei vielä ole standardeja. Mikromuovien näytteenotto eroaa yleisestä vesinäytteenotosta siinä, että tarkasteltavan vesimäärän tulee olla suuri, jopa useita kymmeniä kuutioita edustavan näytteen saamiseksi. Yleinen Suomessa käytetty mikromuovien näytteenottomenetelmä on Manta-pintahaavi. Haavia vedetään veneen perässä, jolloin sen suuaukko kerää vedessä kelluvat partikkelit haaviverkkoon ja lopulta irrotettavaan peräpussiin, josta ne voidaan käsitellä sekä lopulta analysoida. Suomen ympäristökeskuksen tutkimuksissa Manta-pintahaavia on aikaisemmin käytetty pintavesien mikromuovinäytteenottoon esimerkiksi Kuopion Kallavedellä sekä Itämerellä. Kallavedellä tehdyssä tutkimuksessa Manta-haavin tehokkuutta vertailtiin toisella menetelmällä tehtyyn näytteenottoon, jossa järvivettä pumpataan useiden eri silmäkokoisten suodattimien läpi. Tutkimustulosten

mukaan pumppaamalla toteutettu näytteenotto soveltuu paremmin rantakohteisiin sekä pistemäisiin näytteenottoihin, esimerkiksi tunnettujen päästölähteiden, kuten jätevesiputkien, tutkimiseen sekä sen avulla saadaan helpommin kiinni pienempiä (alle 100 µm) mikromuovipartikkeleita. Manta- pintahaavi sen sijaan soveltuu liikuteltavuutensa ansiosta paremmin laajempien alueiden, kuten järvien, tutkimukseen (Uurasjärvi ym. 2020).

WaterPlus-hankkeen mikromuovinäytteenotto toteutettiin Manta-pintahaavia käyttämällä (kuva 2), joka soveltuu edellä mainittua pumppausmenetelmää paremmin havainnoimaan mikromuovipitoisuuksia suurilta järviolueilta. Haavin silmäkooksi valittiin 100 µm (0,1 mm), joka mahdollistaa mahdollisimman pienien mikromuovipartikkelien kiinnisaamisen niin, että haavi ei tukkeudu vedessä olevista muista partikkeleista, kuten humuksesta. Näytteenoton kannalta on tärkeää, että vedessä ei ole liikaa esimerkiksi siitepölyä, joka voi estää veden virtausta haavissa tai jopa tukkia sen kokonaan. Haavin suuaukolla on virtaamamittari, jonka mittaaman virtaamamäärän avulla saadaan selville haavin läpi kulkenut vesimäärä näytteenottohetkellä. Näin mikromuovipitoisuus voidaan suhteuttaa haavin läpi kulkeneeseen vesimäärään.



KUVA 2. Pintavesien mikromuovinäytteenotossa käytetty Manta-pintahaavi toiminnassa Savonlinnassa (kuva Aki Mykkänen).

Pintavesinäytteiden lisäksi jokaisesta kohteesta otettiin myös yksittäinen rantahiekkanäyte kokoomänäytteenottona. Osanäytteitä kerättiin jokaiselta rannalta kolme kappaletta, minkä jälkeen ne sekoitettiin keskenään teräsämpärissä. Tästä kolmesta osanäytteestä muodostuneesta näytteestä kerättiin lopullinen 500 gramman näyte, jonka avulla saadaan yleiskuva rantahiekassa olevista mikromuoveista. Näytteenotot toteutettiin 16.–24.5.2022. Muovinäytteet esikäsiteltiin ja pakastettiin Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulun Mikkelin kampuksen Ympäristölaboratoriossa, josta ne toimitettiin Suomen ympäristökeskukselle käsiteltäviksi ja analysoitaviksi elokuussa 2022.

PFAS-YHDISTEIDEN TUTKIMINEN ETELÄ-SAVON PINTAVESISTÄ

Mikromuovien lisäksi WaterPlus-hankkeessa selvitetään, millaista kuormitusta vesistöihin aiheutuu ravinteista, raskasmetalleista sekä PFAS-yhdisteistä. Näistä aineista vähiten tutkittuja ovat perfluoratut alkylyyhdisteet eli PFAS-yhdisteet, joita on tuhansia erilaisia. Vesistöihin nämä aineet päätyvät pääosin hulevesihuhtoutumien kautta, mutta osittain myös kaukokulkeutumisen kautta. PFAS-yhdisteitä käytetään niiden nesteitä hylkivien ominaisuuksien takia paljon kuluttajatuotteissa sekä myös esimerkiksi palonestoaineina elektroniikkatuotteissa. Yhdisteet voivat vapautua tuotteista niiden valmistuksen, käytön tai hävittämisen aikana eli käytännössä kaikissa vaiheissa. Lisäksi ilmaitse laskeuman on todettu olevan niiden kulkeutumisreitti ympäristöön. PFAS-yhdisteet ovat myös erittäin hitaasti luonnossa hajoavia, ja ne rikastuvat ja kertyvät ravintoketjussa eliöiden vereen sekä sisäelimiin. Ihmiset altistuvat yhdisteille pääasiallisesti ravinnon kautta, ja mahdolliset terveyshaitat ovat esimerkiksi heikentynyt immuunivaste, maksan toiminnan heikentyminen sekä tulehdusalttiuden kasvaminen. Tarkemmista terveydellisistä vaikutuksista tarvitaan kuitenkin vielä lisää tutkimustietoa (Terveyden ja hyvinvoinnin laitos, 2022).

Suomen ympäristökeskuksen julkaiseman Perfluoratut yhdisteet ympäristössä tietopaketin mukaan toistaiseksi PFAS-yhdisteiden käyttöä on rajoitettu vain PFOS:n (perfluoro-oktaanisulfonaatti) ja sen johdannaisten osalta. Yhdisteenä PFOS on pysyvä, toksinen ja biokerääntyvä, jota on käytetty muun muassa pintakäsittely- ja torjunta-aineissa. Myös muita PFAS-yhdisteitä koskevia rajoituksia on valmisteilla Euroopan unionissa sekä maailmanlaajuisesti. PFAS-yhdisteet nousivat mediahuomioon Suomessa elokuussa 2022 usean eri median uutisoinnin myötä. Uutisissa esiteltiin Tukholman yliopistossa tehtyä tutkimusta, joka väittää, että maapallolla ei ole enää yhtäkään paikkaa, jossa olisi turvallista juoda sadevettä niiden korkeiden PFAS-määrien takia. Tutkimuksesta uutisoi esimerkiksi Yle.

WaterPlus-hankkeessa kaikista 11 kohdealueesta haitta-ainenäytteenotot sisältäen PFAS-näytteet toteutettiin yhtä aikaa mikromuovinäytteenottojen kanssa keväällä 2022. Näytteenotopisteet olivat asutustaajamien läheisiä pintavesiä. Näytteet lähetettiin ulkopuoliseen laboratorioon analysoitavaksi.

YHTEENVETO

Etelä-Savon vesistöjen hyvän tilan ylläpitäminen vaatii tietoa sekä kuormituksesta, kuormituslähteistä sekä siitä, miten vesistöihin kohdistuvaan kuormitukseen voidaan vaikuttaa. WaterPlus-hankkeessa tehtävällä nykytilaselvityksellä saadaan yleiskuva ravinteista, raskasmetalleista ja PFAS-yhdisteistä aiheutuvasta kuormituksesta kuntataajamien läheisissä pintavesissä. Lisäksi tietoa saadaan tutkittavien kohteiden mikromuovipitoisuuksista. Nykytilaselvityksestä saadut tulokset mahdollistavat kattavampien tutkimusten toteuttamisen mahdollisista ongelmakohteista. Nykytilaselvityksen tulokset tullaan esittämään hankkeen loppujulkaisussa vuonna 2023.

LÄHTEET

Mehtonen, J., Perkola, A., Reinikainen, J., Seppälä, T. & Suikkanen, J. Perfluoratut yhdisteet ympäristössä -tietopaketti. Suomen ympäristökeskus. Ympäristöministeriön rahoittama PERFEKTA-hanke, v. 2015–2016. Saatavissa: https://www.ymparisto.fi/download/PFAS_Tietopaketti_210616pdf/%7B73515910-5B63-4BAD-BBBC-B7BE6A-4DB5E7%7D/160011 [Viitattu 15.9.2022]

Terveys ja hyvinvoinnin laitos, 2022. PFAS-yhdisteet. WWW-dokumentti. Päivitetty 14.6.2022. Saatavissa: <https://thl.fi/fi/web/ymparistoterveys/ymparistomyrkyt/pfas-yhdisteet> [viitattu 15.9.2022]

Uurasjärvi, E., Hartikainen, S., Setälä, O., Lehtiniemi, M. & Koistinen, A. 2020. Microplastic concentrations, size distribution, and polymer types in the surface waters of a northern European lake. *Water – Environmental Research*. Volume 92, Issue 1. Saatavissa: <https://doi.org/10.1002/wer.1229> [viitattu 25.8.2022]

Yle, 2022. Tukholman yliopiston tutkimus: Maapallolla ei ole enää paikkaa, jossa ikuisuuskemikaalien määrä sadevedessä olisi turvallisissa rajoissa. WWW-dokumentti. Päivitetty 4.8.2022. Saatavissa: <https://yle.fi/uutiset/3-12561184> [viitattu 15.9.2022]

Ympäristöministerin yhteinen verkkopalvelu. Perfluorioktaanisulfonaatti PFOS. WWW-dokumentti. Ladattavissa: <https://www.ymparisto.fi/download/noname/%7BCB75BA-ED-6E43-4B41-8D2B-2F7FFF4EC4D6%7D/94328> [viitattu 12.10.2022]

VEDENLAADUN MONITOROINTIA WATERPLUS-HANKKEESSA

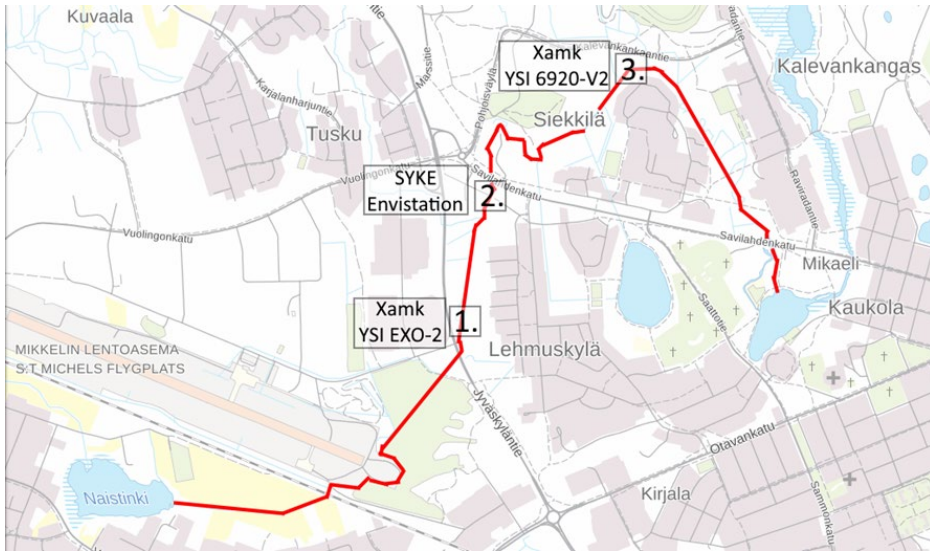
Aki Mykkänen & Niina Laurila & Juha Vihavainen & Joonas Kahiluoto

Perinteinen menetelmä pintavesien laadun seurannassa on ottaa näyte ja analysoida se. Tällaisella menetelmällä saadaan näkyviin vain pintaveden senhetkinen tila, joten esimerkiksi rankkasateista johtuvien huuhtoutumien aiheuttamat vaikutukset voivat jäädä huomaamatta. Kokonaisvaltaisemman kuvan veden laadusta saa reaaliaikaisilla online-mittauksilla. WaterPlus-hankkeessa toteutettavassa monitorointimenetelmien pilotoinnissa testataan, kehitetään sekä validoidaan näytteenotto- ja seurantamenetelmiä. Online-menetelmien lisäksi testataan uudenlaisia dronekuvantamis- ja dronesensorointimenetelmiä. Hankkeessa testataan muun muassa drone-avusteista näytteenottoa sekä virtausnopeuden määrittystä. WaterPlus – Vesistöjen puhtautta edistämässä uusin menetelmin -hanketta toteuttavat Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu ja Suomen ympäristökeskus. Hanketta rahoittaa Etelä-Savon ELY-keskus Euroopan aluekehitysrahastosta.

VEDENLAADUN JATKUVATOIMISET MITTAUSASEMAT

Jatkuvatoimiset, automatisoidut vedenlaadun mittausasemat mahdollistavat mittaustiedon jatkuvan keräämisen ajankohdilla, jolloin näytteenottotyöskentely olisi haastavaa. Yksittäisen kenttämittauksen tai näytteenoton sijasta laitteet voivat tuottaa mittaustuloksia täysin käyttäjän tarpeiden ja tavoitteiden mukaan, jopa minuuttitasolla. Tulokset saadaan myös lähettimien avulla etänä tarkasteltavaksi, mikä vähentää tarvittavien kenttäkäyntien määrää. Järjestelmässä mitattaville parametreille voidaan määrittää hälytysraja-arvot, jolloin poikkeaviin lukemiin esimerkiksi hulevesitapahtumasta johtuvista syistä voidaan heti reagoida esimerkiksi näytteenotoin.

WaterPlus-hankkeessa rakennettiin kolme jatkuvatoimista vedenlaadun monitorointiasemaa Siekkilänjokeen yhdessä Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulun ja Suomen ympäristökeskuksen toimesta. Siekkilänjoki on osa 7-nimistä jokea, johon kohdistuu hulevesikuormitusta useasta Mikkelin kaupunginosasta. Mittauspisteet valikoituivat toisistaan noin kilometrin etäisyyden sekä joen ylittävien siltojen mukaan, mikä mahdollistaa laitteistojen kiinteään asentamisen ja helpomman pääsyn joelle (kuva 1). Useat eri havaintopisteet samassa joessa mahdollistavat vedenlaadun muutosten seurannan sekä suuremman todennäköisyyden haitta-aineiden havaitsemiselle. Vedenlaadun seuranta toteutettiin kohteissa vuonna 2022.



KUVA 1. Jatkuvatoimisten mittausasemien sijainnit Mikkelin Siekkilänjoessa (korostettu punaisella). (Kartta Maanmittauslaitos, muokkaukset Aki Mykkänen).

SYKEN Envistation-mittausvaunu (kuva 2) sijoitettiin pisteeseen 2 Oksakujan pätyyn. Mittausvaunun avulla tutkittiin jatkuvatoimisten kenttämittausten laatua ja luotettavuutta mittaamalla tavallisten näytteiden lisäksi synteettisiä kontrollinäytteitä. Toistomittausten ja kontrollinäytemittausten avulla veden sameuden mittaukselle saadaan automaattisesti määritettyä mittausepävarmuus.



KUVA 2. Suomen ympäristökeskuksen Envistation-mittausvaunu (kuva Aki Mykkänen).

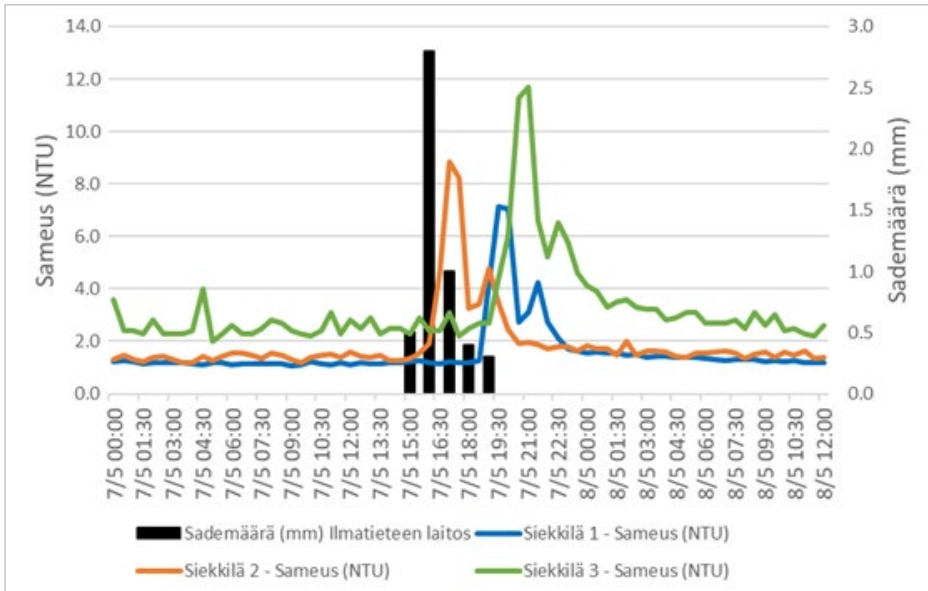
Jatkuvatoimisesti mitattavia parametrejä kaikissa pisteissä ovat vedestä mitattava lämpötila, sähkönjohtokyky, sameus, pH-arvo sekä liukoisien aineiden pitoisuus. Lisäksi asemista saadaan myös paikalliset ilman lämpötila, -kosteus ja -paine tiedot. Näiden lisäksi Envistation mittaa UV-absorbanssia, josta voidaan korrelaatioiden avulla määrittää nitraatti, BOC, COD ja TOC.

Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu suoritti veden laadun seurantaan kahdesta kohteesta (mittausasemat nro 1 ja 3) YSI-mittareilla, joista mittaustiedot siirrettiin pilvipalveluun Keller-lähettimien avulla. Mittausasemaan nro 1 asennettiin (kuva 3) EXO-2-vedenlaatu-mittari Jyväskylätien alittavan jokiosion jälkeisen vanhan sillan alle. Xamkin toisessa eli mittausasema nro 3:ssa vedenlaatua seurattiin Siekkilän omakotitaloalueen pohjoispuolella Pohjolankadulta lähtevän pururadan sillalta. Tähän kohteeseen asennettiin vanhempi YSI 6920-V2 -vedenlaatumittari, joka asetettiin halutulle syvyydelle siltaan kiinnitetyn ketjun avulla.



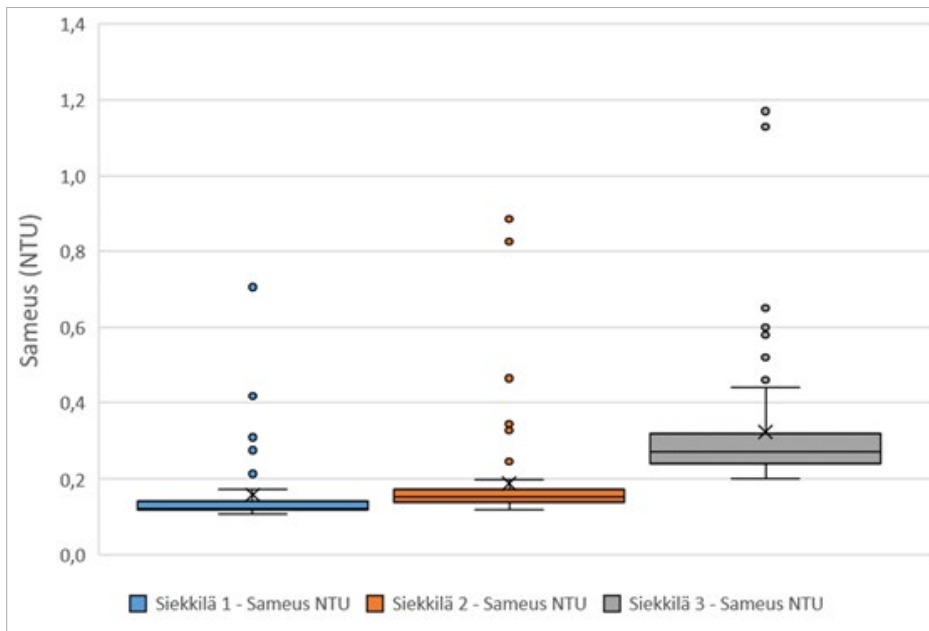
KUVA 3. Piste 1 vedenlaatuasema huoltokäynnin yhteydessä toukokuussa 2022. Kuvassa näkyvä YSI EXO-2 -vedenlaatumittari on asennettuna NexSensin suojahäkkiin. Häkki sekä mittari olivat hyönteistoukkien peitossa, jotka heikensivät muun muassa optisen sameusanturin tuloksia (kuva Aki Mykkänen).

Kaikkien mittausasemien toimintaa tarkasteltiin kenttäkäynneillä Xamkin toimesta. Envis-tationilla tehtävän jatkuvasti tehtävien rinnakkaismittausten lisäksi kenttäkäyntien yhteydessä mittareiden tuloksia varmennettiin myös muilla menetelmillä, kuten näytteenotoilla sekä kenttämittareilla. Lisäksi myös jatkuvatoimisten mittareiden kuntoa tarkasteltiin jatkuvasti. Kaikki jatkuvatoimiset mittarit huollettiin perusteellisesti ja kalibroitiin noin 1–1,5 kuukauden välein. Mittareilla saatujen tuloksien avulla vedenlaadun muutoksia voidaan seurata eri kohdissa jokea (kuva 4).



KUVA 4. Esimerkki Siekkiläjoen kolmen mittausaseman sameustulokset sekä sademäärä (Ilmatieteen laitos, Mikkelin lentoasema) sadetapahtuman aikaan toukokuussa 2022. Sateesta aiheutuva sameuspiikki havaitaan eri kohdissa jokea eri aikoina.

Online-mittausasemien sameustulokset osoittavat, että Siekkilänjoessa sameus nousee siirryttäessä ensimmäiseltä mittausasemalta eteenpäin (kuva 5). Esimerkkinä toukokuun alussa 32 tunnin ajanjaksolla Siekkilä 1 -pisteessä sameus on keskimäärin 1,6 NTU, kun taas myöhäisimmällä Siekkilä 3 -pisteellä 3,2 NTU.



KUVA 5. Jatkuvatoimisten vedenlaatumittareiden sameuden ruutu- ja janakaavio (mediaani, keskiarvo x, kvartiilit, minimi ja maksimi) 7.5.2022 kello 00:00 – 8.5.2022 kello 12:00. Mittauksia joka pisteeltä 73 kappaletta.

Loppusyksystä 2022 tavoitteena on suorittaa vielä suurempi haitta-ainenäytteenotto, jolla tarkastellaan Siekkiläjoen sekä 7-nimisen joen kautta Saimaaseen tulevaa kuormitusta. Näytteenoton tuloksia verrataan jatkuvatoimisten mittareiden tuloksiin mahdollisten yhtäläisyyksien löytämiseksi. Mittauksia jatketaan jäiden saapumiseen eli arviolta noin marraskuuhun saakka. Vuonna 2023 mittalaitteet otetaan uudelleen käyttöön uusissa kohteissa.

DRONESTA APUA VEDENLAADUN SEURANTAAN

Perinteisen näytteenoton ja online-menetelmien ohella myös dronea voidaan käyttää vesinäytteenottoon ja ympäristön tilan tutkimiseen. Dronella tehtävä näytteenotto on hyvä vaihtoehto veneelle, jos näytteitä halutaan rantaa kauempaa vesistössä tai jos näyte halutaan ottaa työturvallisuuden kannalta ongelmallisissa olosuhteissa, kuten vanhoista kaivoskuiluista tai teollisuusympäristöjen vesialtaista. Näytteenottimen lisäksi drone voidaan varustaa myös erilaisilla sensoreilla, jotka mahdollistavat tutkimuskohteen yksityiskohtaisemman tarkastelun.

Dronella tehtävää vesinäytteenottoa demonstroititiin Juvan Jukajärvellä 21.9.2022. Näytteenotossa käytettiin Drosens Oy:n kehittämää näytteenotinta (kuva 6), jolla saa otettua kaksi 0,75 litran vesinäytettä painanturin perusteella ohjelmoiduista syvyyksistä. Näytteenotto

toteutettiin DJI Matrice 600 -dronella, joka sijoittuu lainsäädännön osalta avoimeen kategoriaan A3, eli toiminnan pitää tapahtua näköyhteydessä ja vähintään 150 metrin päässä asutuksesta ja ulkopuolisista ihmisistä. Yhdellä Matrice 600 -dronen akkusetillä pystyi tekemään noin neljä näytteenottolentoa. Näytteenottimesta saadaan näytteenoton jälkeen raportti, joka sisältää tiedot syvyys- ja lämpötilaprofilista sekä veden sähkönjohtavuudesta. Dronella tehtävä vesinäytteenotto on varteenotettava vaihtoehto perinteisille näytteenotto-menettelmille alueilla, joissa dronea saa lennättää lentorajoitusten ja lainsäädännön puitteissa. Demonstroidusta näytteenotosta on nähtävissä video Sykkeen Youtube-kanavalla.



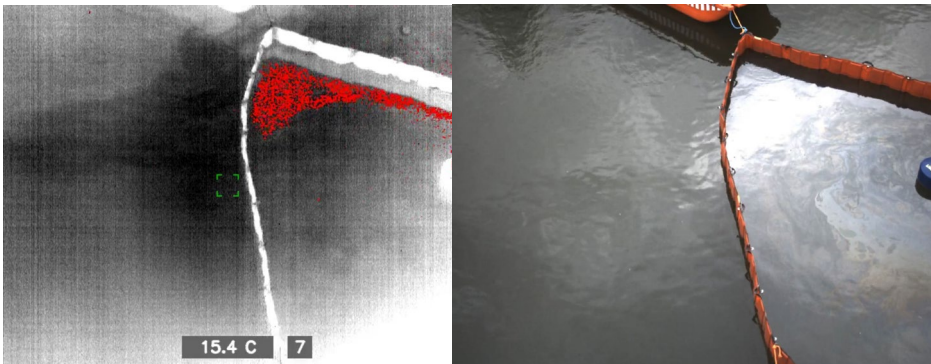
KUVA 6. Drosens Oy:n vesinäytteenottimen näytteestä mitataan YSI ProDSS kenttä-laitteella vedenlaatua. Oikealla puolella DJI Matrice 600 -drone, jossa on kiinnitettynä vesinäytteenotin. (Kuva Aki Mykkänen)

Vesinäytteenoton lisäksi dronella voidaan tehdä ympäristötutkimusta erilaisilla kameroilla, joilla voidaan esimerkiksi todentaa levän esiintymistä tai havaita öljyä. Polarisoitua lämpökameraa testattiin öljyn havaitsemiseen vedestä Xamkin öljyntorjunnan tutkimus- ja testausympäristössä Kotkan Sunilassa 17.5.2022 (kuva 7).



KUVA 7. Öljyn havainnointia dronen avulla testattiin Kotkan Sunilassa (kuva Joonas Kahiluoto).

Kokeessa 30 metriä halkaisijaltaan olevaan betoniaaltaaseen laskettiin pienehköjä määriä oikeaa öljyä veteen ja seurattiin, miten öljy näkyy dronen tuottamassa kuvassa. Kuvauskulma ja kameran polarisaatioasetukset vaikuttivat selvästi havainnointiin, mutta sopivissa olosuhteissa käytetty ohjelmisto osasi merkata öljylautan kuvaan oikein (kuva 8).



KUVA 8. Polarisaatiokameran kuvassa öljy näkyi punaisena. (Kuva Joonas Kahiluoto)

Droneihin voidaan kiinnittää myös erillisiä multi- tai hyperspektrikameroita, jotka tallioivat näkyvästä valosta poikkeavia aallonpituuksia. Spektrikuvantaminen perustuu siihen, että eri materiaalit heijastavat, läpäisevät ja absorboivat valoa eri aallonpituuksilla. Spektrikuvantamisen käytöstä veden laadun tutkimisessa on tehty monia tutkimuksia eri puolilla

maailmaa, ja niissä on tutkittu muun muassa korrelaatioita veden laatuparametrien sekä reflektanssiarvojen välillä. (Sagan ym. 2020; Isgró ym. 2021.)

Xamkilla tutkitaan multispektrikameran (Micasense RedEdge-MX) soveltuvuutta klorofylli- α -pitoisuuden arviointiin vedestä. Klorofylli- α on valoa keräävä pigmentti, jonka pitoisuuden avulla vedestä voidaan arvioida levien kokonaismäärää. Runsaat leväesiintymät saattavat muodostaa veden laatua heikentäviä leväkukintoja. Klorofylli- α -pitoisuutta voidaan pitää rehevyyden mittarina. (SVSY). Multispektrikuvantaminen aloitetaan Xamkin ympäristölaboratoriossa tehtävillä kokeilla, joiden tarkoituksena on eri klorofyllipitoisuuksien havainnointi. Saatuja tuloksia verrataan spektrofotometrisesti määritettyihin arvoihin. Menetelmää testataan myös vesistöissä vuonna 2023.

YHTEENVETO

WaterPlus-hankkeessa toteutettavat monitoroinnit tehostavat hulevesien havainnointia, jolloin reagointi ympäristössä tapahtuneisiin muutoksiin paranee. Jatkuvatoimisen vedenlaatureurannan avulla havaintoja saadaan paljon sekä myös ajankohdilta, jolloin näytteenotto ei olisi mahdollista. Monitorointi edistää myös hulevesien hallinnan kohdistamista oikeisiin alueisiin. Hanke edistää myös online-monitoroinnin käyttöä vedenlaadun seurannassa hankkeessa tehtävällä validoinnilla. Testattavat dronella tehtävät näytteenotot sekä drone-kuvantamiseen perustuva vedenlaadun seuranta mahdollistavat nopean ja laajan tiedon tuottamisen sekä havainnoinnin tutkimuskohteista, joihin liikkuminen esimerkiksi veneellä olisi haastavaa ja aikaa vievää. Menetelmien testauksia jatketaan sekä laboratorio- ja kenttäolosuhteissa vielä ensi vuonna ja lopulliset tulokset esitellään hankkeen päätyttyä hankkeen loppujulkaisussa.

LÄHTEET

Isgro, M.A., Basallote, M.D. & Barbero, L. 2021. Unmanned Aerial System-Based Multispectral Water Quality Monitoring in the Iberian Pyrite Belt (SW Spain). *Mine Water Environ* 41, 30–41 (2022). Saatavissa: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10230-021-00837-4>

Sagan, V., Peterson, K., Maimaitijiang, M., Sidike, P., Sloan, J., Greeling, B., Maalouf, S. & Adams, S. 2020. Monitoring inland water quality using remote sensing: potential and limitations of spectral indices, bio-optical simulations, machine learning, and cloud computing. *Earth-Science Reviews*. Volume 205. Saatavissa: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0012825220302336>

Saimaan vesiensuojeluyhdistys ry, s.a. Vedenlaatuparametrit. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.svsy.fi/yhdistys/vedenlaatuparametrit/>

HULEVESIEN LAADUN SEURANTAA HULEVESIRAKENTEISSA

Tuija Ranta-Korhonen & Marleena Tirkkonen & Aki Mykkänen
& Leena Pekurinen

Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulun ympäristöturvallisuuden tutkimusryhmässä toteutettiin 1.3.2021–30.11.2022 välisenä aikana Hula – Hulevesien laadullinen hallinta ja haitallisten aineiden monitorointi -hanketta. Hanketta rahoitti ympäristöministeriö vesien-suojelun tehostamisohjelmasta. Hankkeessa monitoroitiin Mikkelin kaupunkialueella syntyvien hulevesien laatua sekä erilaisten hulevesirakenteiden ja niissä tapahtuvien prosessien vaikutusta vesien laatuun. Seurattavia kohteita oli kolme: Naistingin hulevesikosteikko, Pitkäjärven tutkimusympäristö sekä Karikon hulevesiallas.

JATKUVATOIMISIA MITTALAITTEITA JA NÄYTTEENOTTIMIA

Hula-hankkeessa tutkittavista kohteista hankittiin tuloksia useilla eri menetelmillä. Perinteisen näytteenoton lisäksi vedenlaatua monitoroitiin kenttämittareilla sekä jatkuvatoimisilla vedenlaatumittareilla. Jatkuvatoimiset vedenlaatumittarit mahdollistivat monitoroinnin helposti ja kustannustehokkaasti, jopa ajankohtina, jolloin näytteenotto olisi haastavaa. Jatkuvatoimisuuden ansiosta oli mahdollista havaita hulevesitapahtumien aikana tapahtuvat veden laadun muutokset.

Hankkeessa hyödynnettiin kahta YSI EXO 3 -vedenlaatumittaria, jotka lähettivät mitaustiedon pilveen. Tämä mahdollistaa datan tarkastelemisen etänä. Mittareilla saatiin havainnointua veden lämpötilaa, sähkönjohtokykyä, happamuutta, sameutta sekä orgaanisen aineksen määriä. Mittarit asennettiin vuoden 2022 keväällä Karikon hulevesialtaaseen tulo- ja poistupuolille. Tällöin mittareilla saatiin suoraan havainnointua vedessä tapahtuvia muutoksia.

Mittalaitteiden asentaminen matalaan altaaseen aiheutti haasteita. Yleisesti mittareita on käytetty niin, että ne esimerkiksi roikkuvat sillalta pystyasennossa. Hulevesialtaan tapauksessa mittarit kuitenkin piti saada asennettua vaakatasoon kellumaan vuodenajan mukaan vaihtuvan pinnankorkeuden takia. Mittareille ei ollut kaupallisesti saatavia kellukkeita, joten niille suunniteltiin yhdessä Xamkin Materiaalilaboratorion kanssa kellukkeet, jotka laboratorioinsinööri Tuomas Venäläinen toteutti keväällä 2022. Kellukkeet valmistettiin

yleisesti saatavista LVI-tarvikkeista (kuva 1). Kellukkeet koettiin käytössä erittäin helppo-käyttöisiksi ja varmoiksi. Ne pitivät myös mittarit aina samalla korkeudella vedenpinnasta, jolloin tulosten vertailtavuus parani.



KUVA 1. Toinen Hula-hankkeessa rakennetuista sondikellukkeista käännettynä ylösalaisin huoltotoimenpiteiden ajaksi. Kuvassa näkyvät kaksi pitkää putkea toimivat kellukkeina sekä ylimpänä näkyvä pienempi rei'itetty putki sisältää itse vedenlaatumittarin. Kokonaisuus kiinnitettiin vajereilla rantaan (kuva Aki Mykkänen).

Hankkeessa tutkittiin myös Karikon hulevesialtaaseen kertyviä sedimenttejä. Sedimentti-näytteenottoa varten suunniteltiin keräimet (kuva 2) yhdessä Xamkin Materiaalilaboratorion kanssa. Keräimet valmisti laboratorioinsinööri Tuomas Venäläinen kevään 2022 aikana, ja niiden rakentamisessa käytettiin jalustana betonisia pihalaattoja, joihin akryyliputkesta ja levystä rakennetut keräinastiat kiinnitettiin ruuveilla. Keräimet sijoitettiin altaan pohjalle neljään eri pisteeseen toukokuun 2022 alussa. Keräinten toimintaperiaate perustuu kiintoaineen sedimentoitumiseen, joka tehostuu hulevesialtaissa veden virtausnopeuden hidastuessa. Kiintoaine kerääntyy akryyliputkiin, jolloin keräinten noudon yhteydessä muodostunut sedimentti voidaan kerätä ja analysoida. Altaan alku- ja loppupäihin sijoitetuihin keräimiin kertyneestä sedimentistä määritettiin mikromuovit. Lisäksi sedimenttien sisältämiä raskasmetalleja tutkittiin röntgenfluoresenssimenetelmällä.



KUVA 2. Hankkeessa suunnitellut ja rakennetut sedimenttikeräimet (kuva Tuija Ranta-Korhonen).

Hankkeen käyttöön vuokrattiin monitorointikauden 2022 ajaksi jatkuvatoimisia virtaaman mittausasemia Luode Consulting Oy:ltä. Mittarit sijoitettiin Karikon hulevesialtaan tulo-ojan rumpuputkeen sekä rakenteesta lähtevän poisto-ojan ojarumpuun. Kolmas mittari sijoitettiin Pitkäjärven tutkimusympäristön settipatokaivoon tulevaan hulevesiviemäriputkeen. Mittausasemat ovat akustisia ja vaativat toimiakseen virtausnopeuden 2 cm/s ja noin 5 cm:n vesisyvyyden. Kesän kuivimpana kautena virtaaman mittaus ei ollut mahdollista veden vähyyden vuoksi. Monitorointikauden aikainen virtaamatiieto yhdistettynä näytteenoton avulla saatuihin vedenlaatutietoihin auttaa määrittämään hulevesien purkuvesistöille aiheuttamaa kokonaiskuormitusta.

Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoululla on käytettävänä kaksi automaattista Hach AS950 -näytteenotinta, joita myös hyödynnettiin Karikon hulevesialtaassa. Automaattisilla näytteenottimilla on mahdollista suorittaa sekä kokoomanäytteenottoa että aikapainotettua, ohjelmoidun aikataulun mukaan tapahtuvaa näytteenottoa. Näytteenotin voidaan esimerkiksi ohjelmoida ottamaan näyte kerran tunnissa vuorokauden ajan. Ominaisuus on kätevä

hulevesitapahtumien seurannassa, koska veden virtaamisen vuoksi samalla ajanhetkellä eri pisteistä, esimerkiksi tulo- ja poistopuolelta, otetut näytteet eivät välttämättä edusta samaa vettä. Automaattisilla näytteenottimilla otettujen näytteiden avulla voidaan myös seurata esimerkiksi hulevesien sisältämän kiintoaineen pitoisuusvaihteluja hulevesitapahtuman aikana.

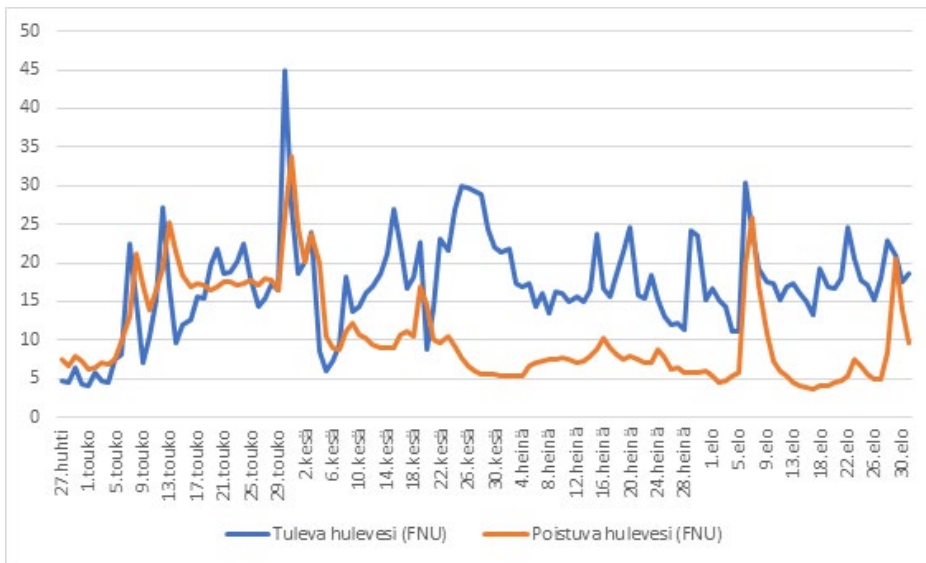
ALUSTAVIA TULOKSIA KARIKON HULEVESIALTAAN TOIMIVUUDESTA

Hankkeen aikana kohteissa tehtiin kenttämittauksia säännöllisesti viikoittain. Kenttämittaukset toteutettiin ProDSS-kenttämittarilla. Mitattavat suureet olivat veden lämpötila, pH, sähkönjohtokyky ($\mu\text{s}/\text{cm}$), sameus (FNU) sekä happipitoisuus (mg/l ja kyllästysprosentti). Kenttämittauksia tehtiin jokaisessa monitorointikohteessa useasta eri mittauspisteestä. Tällä tavoin pyrittiin saamaan selville veden laadun muutokset hulevesirakenteissa. Kenttämittarin tuloksilla varmennettiin myös jatkuvatoimisten vedenlaatumittareiden tuloksia.

Myös kiintoainenäytteitä otettiin monitorointikauden aikana viikoittain. Hulevesien sisältämän kiintoaineen määrän muutos on merkittävää hulevesirakenteen toiminnan tehokkuutta arvioitaessa, sillä kiintoaine on merkittävin yksittäinen veden samentumista aiheuttava tekijä. Hulevesien haitta-aineista esimerkiksi monet raskasmetallit ovat sitoutuneita kiintoaineeseen ja kulkeutuvat sen mukana. Lisäksi kiintoaine sisältää yleensä ravinteita, joilla puolestaan voi olla rehevöittävä vaikutus purkuvesistöissä.

Monitoroitavista kohteista pyrittiin ottamaan säännöllisesti vesinäytteitä. Näytteenottoajankohtaa päätettäessä otettiin huomioon ajankohtaa edeltävän sateen määrä. Näytteistä analysoitavia muuttujia olivat muun muassa ravinteet (typpi ja fosfori, kokonais- ja liukoiset pitoisuudet), kloridi, TOC/DOC, metallit (liukoiset ja kokonaismetallit) sekä öljyhiilivedyt. Ensimmäinen näytteenotto suoritettiin marraskuun 2021 alkupuolella ja näytteenottoja jatkettiin lokakuun 2022 loppuun. Näytteistä ei joka näytteenottokerralla määritetty kaikkia muuttujia eikä näytteitä välttämättä myöskään otettu jokaisesta näytestepisteestä.

Saaduista tuloksista näkyi muun muassa Karikon hulevesialtaan rakenteiden toimivuus ja niissä tapahtuvien prosessien vaikutus vedenlaatuun. Esimerkiksi veden sameus laskee tulo- ja poistopuolien välillä (kuva 3). Keskimäärin tulevan veden sameus oli noin 17 FNU, kun taas poistuvan veden noin 10,6 FNU. Selvimmät erot nähdään vesisateiden aiheuttamien huuhtoumien jälkeen, jolloin tulopuolella on hetkellisesti noin 10–20 FNU korkeampi sameusarvo kuin poistopuolella. Tulokset ovat loogisia, koska allas hidastaa veden virtausnopeutta, jolloin siinä oleva kiintoaine pääsee sedimentoitumaan ja jää altaaseen. Myös suotopatojen läpi suotautuessaan vedessä olevia partikkeleita voi jäädä rakenteisiin.



KUVA 3. Tulevan ja poistuvan huleveden jatkuvatoimisesti mitatun sameuden päivittäiset keskiarvot huhti–elokuu 2022.

Saatujen tuloksien lisäksi altaan toimivuus oli nähtävissä myös silmämääräisesti kohteen kasvillisuudessa. Tulevan veden altaaseen oli vuoden 2022 aikana kasvanut selkeästi enemmän vesikasvillisuutta kuin muihin altaisiin (kuva 4). Sedimentoituvan kiintoaineen mukana altaaseen jää todennäköisesti ravinteita, jotka toimivat hyvänä kasvuympäristönä kasveille. Kasvillisuuden lisääntyminen voi myös parantaa altaan puhdistuskykyä ja purkuvesistöä kuormittavien aineiden pidättämiskykyä.



Poistopuoli



Tulopuoli

KUVA 4. Karikon hulevesialtaasta 26.8.2022 dronilla otettu kuva. Altaan tulopuolella havaitaan selkeästi enemmän vesikasvillisuutta kuin poistopuolella, mikä viittaa kiintoaineen ja siinä olevien ravinteiden sedimentoitumiseen (kuva Juha Vihavainen, muokkaukset Aki Mykkänen).

Myös laboratoriossa tehtyjen määritysten perusteella Karikon altaassa tapahtuu muutoksia vedenlaadussa, ja esimerkiksi veden sisältämien ravinteiden, kloridin ja metallien on voitu todeta vähentyneen. Vaikka Karikon hulevesiallas sijaitsee vilkasliikenteisten teitten välittömässä läheisyydessä, ei liikenteen vaikutusta öljyhiilivetyjen määrään hulevedessä ole havaittu. Osa öljyhiilivedyistä, kuten bensiini, nafta ja bitumiöljyt, on haihtuvia, ja ne todennäköisesti haihtuvat ilmaan ennen kuin saavuttavat hulevesialtaan.

Karikon hulevesialtaan lisäksi Hula-hankkeessa tehtiin myös tutkimusta Mikkelissä sijaitsevista Pitkäjärven hulevesijärjestelmässä sekä Naistingin hulevesikosteikossa, joista molemmista tehtiin samanlaisia kenttämittauksia ja näytteenottoja. Hula-hanke päättyi marraskuussa 2022, johon mennessä hankkeesta julkaistaan kaikista kohteista kattavat tulokset sisältävä loppujulkaisu.

MULTISPEKTRIKUVAUKSET METSÄLANNOITUSKOHTEESSA

Juha Vihavainen

Suomessa syntyy tuhkaa noin 1,5 miljoonaa tonnia vuosittain, ja siitä suurin osa syntyy lämmön- ja sähköntuotannon polttoprosesseissa. Ominaisuuksiltaan tuhkaa voidaan hyötykäyttää maanrakennuksen eri kohteissa ja erityisesti puupohjaista tuhkaa voidaan käyttää lannoitteena sen korkean ravinnepitoisuutensa vuoksi. Tuhkalannoituksia tehdään yli 10 000 hehtaarilla vuosittain, mutta sopivaa lannoitusala on jopa kuusi kertaa sen verran. (Metsäkeskus 2020)

Vastuullista liiketoimintaa tuhkasta -hanke on Tapion, Metsäkeskuksen ja Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulun yhteishanke, jonka tavoitteena on lisätä hyötykäyttöä voimalaitosten polttoprosesseissa syntyville tuhkakajakeille sekä kehittää nykyistä liiketoimintaa. Xamk seuraa hankkeessa tuhkatuiden ja tuhkalannoitusalojen ympäristövaikutuksia. Hankkeessa on tähän liittyen tarkasteltu multispektrikameran ja dronen tuomia mahdollisuuksia ympäristön tilan seurannassa. Hanketta rahoittaa Hämeen ELY-keskus Euroopan maaseudun kehittämisen maatalousrahastosta.

Erityisesti maa- ja metsätaloudessa on yleistynyt dronen ja niihin soveltuvien sensorien käyttö niiden saavuttua kuluttajien saataville. Metsätaloussektorilla dronea on hyödynnetty muun muassa metsätuhojen kartoitukseen ja uudistustarkastuksiin. Maataloudessa droneja käytetään muun muassa peltojen mittaukseen ja kuvaamiseen sekä pellon kunnan ja lannoitustarpeen määrittämiseen erilaisilla droneen kiinnitettävillä sensoreilla, kuten multispektrikameralla (Innoite Oy).

KALVITSAN METSÄLANNOITUSKOHDE

Xamk on toteuttanut Vastuullista liiketoimintaa tuhkasta -hankkeessa ympäristövaikutusten seuranta eri tuhkalannoitus- ja tuhkatiekohteilta Mikkelin alueella. Kalvitsan metsäkohteen tuhkalannoitus toteutettiin lentoleivityksellä elokuun lopulla 2020. Lannoitteena käytettiin alueelle sopivaa Ecolan Horus tuhkalannoitetta 3 000 kg/ha. Alueelta kerättiin neulas-, marja- ja varpunäytteitä sekä vesi- ja maaperänäytteitä ennen ja jälkeen tuhkalannoituksen. Näytteistä analysoitiin tilanne ennen ja jälkeen lannoituksen, jotta tuhkalannoituksen vaikutusta ravinne- sekä raskasmetallipitoisuuksiin voitiin verrata lähtötilanteeseen. Kaikki näytteet lähetettiin ulkopuoliseen laboratorioon.

MULTISPEKTRIKUVAUKSET KALVITSAN METSÄLANNOITUSKOORTEELLA

Spektrikuvaus perustuu siihen, että eri materiaalit heijastavat ja absorboivat valoa eri aallonpituuksilla: tieto kerätään eri aallonpituuksilla sähkömagneettisen spektrin alueella (Jensen 2000). Droneen kiinnitettävät spektrikuvauslaitteet voidaan karkeasti jakaa multispektrikameroihin ja hyperspektrikameroihin, ja suurin ero kameroissa on kaistojen määrä ja kapeus. Kaupalliset multispektrikamerat tallentavat yleensä 3–10 spektrikaistaa alueella, joka soveltuu hyvin kasvillisuuden kunnon tarkasteluun. Hyperspektrikamerat tallentavat kapeampia aallonpituuksia, ja spektrikaistojen määrä voi olla satoja tai jopa tuhansia. Hyperspektrikamerat tuottavat paljon yksityiskohtaisempaa dataa, mutta mukana tulevat myös kohonneet kustannukset ja datamäärät sekä vaativampi datan käsittely.

Multispektrikuvauksia on toteutettu Kalvitsan metsälannoituskohteella vuodesta 2020 lähtien. Vuosina 2020–2021 kuvauksia tehtiin Mapir Survey 3 -kameralla, ja vuonna 2022 Micasense RedEdge-MX -kameralla. Kameroiden tallentamat spektrikaistat ja varsinkin kaistanleveydet eroavat toisistaan huomattavasti, joten ne eivät ole keskenään vertailukelpoisia. Tavoitteena kuvauksilla oli tutustua tarkemmin multispektrikameroiden toimintaan ja tarkastella, minkälaista tietoa multispektrikameralla voidaan saada metsäalueista. Kuvadatasta määritettiin muun muassa erilaisia kasvillisuusindeksejä. Kuvassa 1 on esitetty Micasense RedEdge-MX -multispektrikamera kiinnitettynä DJI Matrice 300 -droneen.



KUVA 1. DJI Matrice 300 -drone ja Micasense RedEdge-MX multispektrikamera (kuva Juha Vihavainen).

Micasense RedEdge-MX tallentaa viittä eri spektrikaistaa samanaikaisesti, ja ne on esitetty taulukossa 1. Kamera on optimoitu spektrikaistojen osalta erityisesti maatalouskäyttöön. Spektrikaistat mahdollistavat yleisten kasvillisuusindeksien, kuten NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) ja NDRE (Normalized Difference Red Edge Index), sekä muiden kasvillisuusindeksien tuottamisen. Kasvillisuusindeksit perustuvat kasvillisuuden heijastusominaisuuksiin: indeksit ovat arvoja, jotka perustuvat kuvan pikselien kirkkausarvoihin. Eri spektrikaistojen arvoja yhdistelemällä saadaan kuvattua kasvin elinvoimaisuutta mitatun pikselin alueella. (Onesoil). Esimerkiksi NDVI-indeksin laskeminen vaatii kameralta NIR-alueen tallentamisen (Palva ym., 2021). Red Edge -spektrikaista on juuri lähi-infrapuna-alueen alussa (700–730 nm), ja sen tallentamat muutokset reagoivat herkästi kasvien heijastuvuuden eroavaisuuksiin. (Mirragin)

TAULUKKO 1. Micasense RedEdge-MX -kameran aallonpituusalueet.

| Kaistan nimi | Aallonpituus (nm) | Kaistanleveys (nm) |
|--------------|-------------------|--------------------|
| Blue | 475 | 32 |
| Green | 560 | 27 |
| Red | 668 | 14 |
| Red Edge | 717 | 12 |
| Near IR | 842 | 57 |

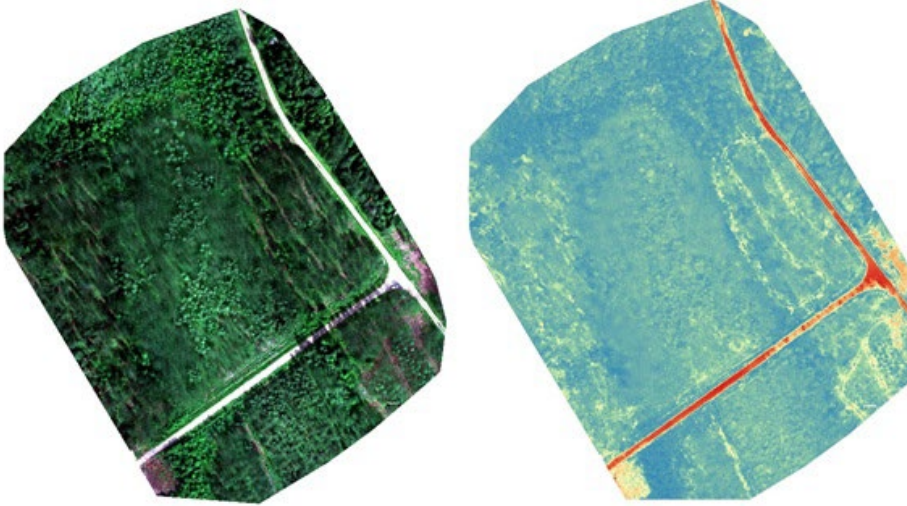
Kameran raakadata käsiteltiin Pix4DMapper-ohjelmistolla, jossa kuvista tuotettiin ortomosaiikit ja heijastuvuuskuvat. Heijastuvuuskuvat vietiin QGIS:iin, joka on ilmainen ja avoimen lähdekoodin paikkatietojärjestelmä. Koska kameran data on viidellä eri aallonpituusalueella, QGIS-ohjelmistolla rakennettiin virtuaalinen rasteri, joka sisältää kaikki viiden kaistan heijastuvuusarvot. Kasvillisuusindeksit laskettiin QGIS:n Raster Calculator -toiminnolla.

KASVILLISUUSINDEKSIT

NDVI-indeksin periaatteena on verrata punaisen (Red, 668 nm) ja lähi-infrapun (NIR, 842 nm) spektrikaistojen suhdetta. Terve kasvi absorboi aktiivisesti punaista valoa ja heijastaa lähellä infrapuna-alueella, mutta huonokuntoinen kasvi toimii päinvastoin (OneSoil). Seuraavassa on esitetty NDVI-indeksin laskukaava.

$$NDVI = \frac{NIR - Red}{NIR + Red}$$

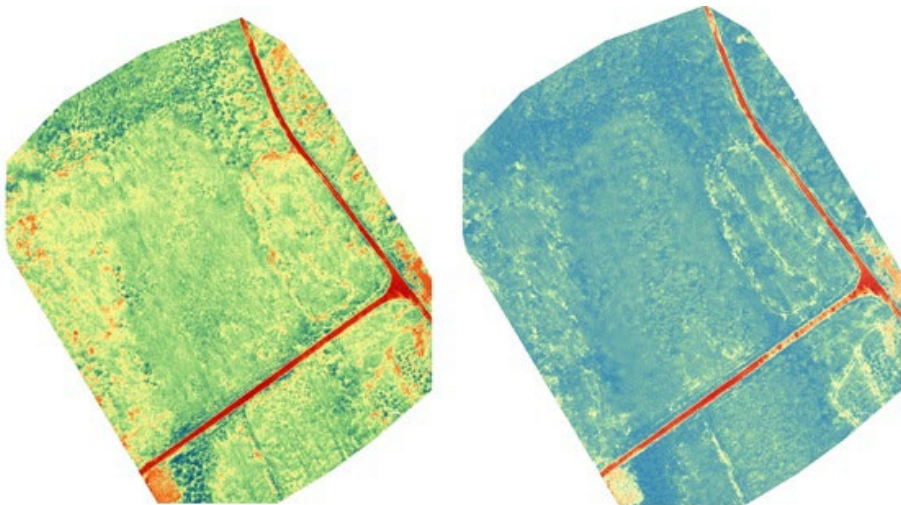
Kaavan tulokset vaihtelevat -1:stä 1:een, ja epäorgaanisilla aineilla on tyypillisesti negatiiviset arvot ja terve kasvillisuus on välillä 0,2–0,8. Indeksien laskemisen jälkeen kuvan pikselien arvoille voidaan määrittää värit LUT:n avulla (Lookup Table) datan visualisoimiseksi. Kuvassa 2 on esitetty RGB-kuva sekä NDVI-värikarttakuva Kalvitsan tuhkalannoitusalueelta.



KUVA 2. RGB-kuva sekä NDVI-värikarttakuva Kalvitsan tuhkalannoitusosalta (kuva Juha Vihavainen).

NDVI-kuvassa siniseen taivuttava väri viittaa korkeisiin NDVI-arvoihin ja punainen mataliin NDVI-arvoihin. Lannoitusalan läheisyydessä kulkeva tie erottuu selkeästi punaisella, ja myös tien risteysten läheisyydessä liikkuneen metsäkoneen jäljet erottuvat selkeämmin NDVI-kuvassa. Tiellä puiden tuottamat varjot heijastavat NIR-säteilyä, joka näkyy kohonneina arvoina kuvassa.

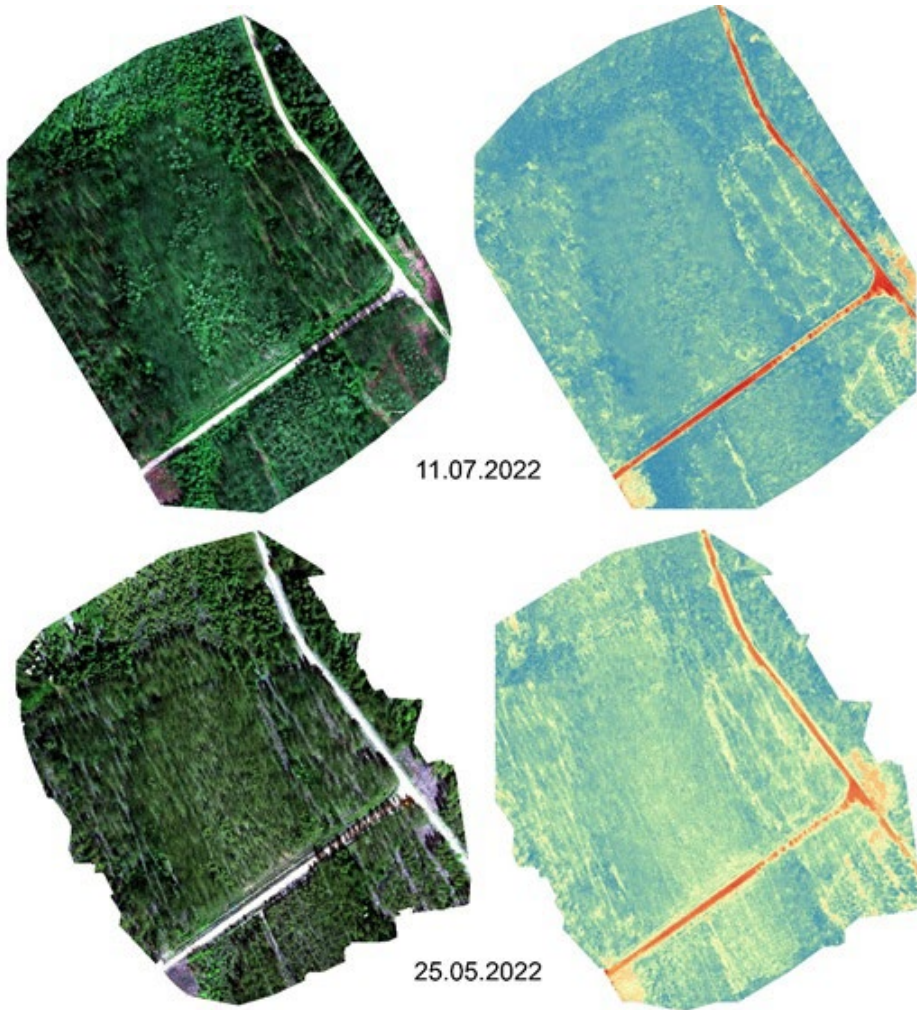
OSAVI-indeksi (Optimized Soil-Adjusted Vegetation Index) ei ole niin herkkä maaperän heijastavuudelle kuin NDVI-indeksi. Indeksia käytetään yleisimmin alueilla, joilla on suhteellisen harvaa kasvillisuutta ja maaperä näkyy kasvillisuuden läpi. Indeksin kaava sisältää korjauskertoimen maaperän taustan vaihteluille NDVI:n herkkyyden minimoimiseksi erilaisissa ympäristöolosuhteissa. Kuvassa 3 on esitetty OSAVI-indeksi sekä NDVI-indeksi.



KUVA 3. Erilaisia kasvillisuusindeksejä. Vasemmalla OSAVI-indeksi, oikealla NDVI-indeksi (kuva Juha Vihavainen).

OSAVI-indeksi on vähemmän herkkä klorofyllille, joten kuvasta erottuu paremmin pieniä muutoksia kasvillisuudessa. Eri metsälajit erottuvat paremmin OSAVI-indeksillä. Kuvat 2 ja 3 on tallennettu heinäkuussa 2022 kasvukauden ollessa voimakkaimmillaan, joten OSAVI-indeksi soveltuu pienemmän herkkyytensä takia hyvin metsän tarkasteluun kyseiseen aikaan vuodesta.

Kuvatun alueen sisäinen vaihtelu voi antaa tietoa kasvillisuuden kunnosta. Kuvassa 4 on esitetty RGB-kuva ja NDVI-indeksi toukokuussa 2022 verrattuna heinäkuuhun 2022.



KUVA 4. RGB-kuvat ja NDVI-indeksit 25.5.2022 sekä 11.7.2022 Kalvitsan tuhkalannoitusalueelta (kuva Juha Vihavainen).

25.5.2022 tehty kuvaus on toteutettu metsän kasvukauden alussa, mikä näkyy pienempinä lukuina yksittäisten pikselien heijastusarvoissa sekä enemmän keltaiseen nojaavana värinä NDVI-värikartassa. Yksittäisten pikselien tai pienen määritetyn alueen NDVI-arvoja tarkastelemalla voidaan saada paremmin määritettyä eroja alueella ja tätä kautta saada suuntaa antavia tietoja kasvien kunnosta.

SPEKTRIKUVANTAMINEN JA KASVILLISUUSINDEKSIT

Kasvien ominaisuuksia voidaan tutkia kasvien heijastusominaisuuksien ja lohkonsisäisten vaihteluvälien avulla. Heijastuminen riippuu pitkälti heijastavan pinnan ominaisuuksista: esimerkiksi suurin osa näkyvästä valosta absorboituu ja NIR-valo heijastuu terveestä kasvillisuudesta. Stressaantunut tai huonokuntoinen kasvusto näyttyy päinvastoin näkyvän valon heijastumisena sekä NIR-valon absorboitumisena (Campbell ym. 2011). Yleisimmät kasvillisuusindeksit perustuvat tähän ilmiöön.

Kasvillisuusindeksit ovat suhdelukuja, jotka on saatu useita eri kaistojen arvoja yhdistelemällä erilaisilla laskutoimituksilla. Korkeat kasvillisuusindeksin arvot yleensä kertovat terveestä kasvillisuudesta (Campbell ym. 2011). Kuvattavan alueen sisäisiä vaihteluita tutkimalla voidaan saada suuntaa antavaa tietoa kasvillisuuden tilasta. Referenssimittauksiin, kuten maaperän ja kasvillisuuden näytteenottoon, perustuviin laboratorioanalyysiin verrattaessa voidaan myös löytää korrelaatioita spektrikameran tuottaman datan sekä analyysituloksien välillä. Ilman referenssimittauksia todellisia absoluuttisia arvoja liittyen esimerkiksi kivennäisaineiden puutostilaan tai ravinne-epätasapainoon voi kuitenkin olla vaikea määrittää pelkällä spektrikuvantamisella.

LÄHTEET

Cambell, J. & Wynne, R. 2011. Introduction to Remote Sensing, Third Edition. The Guilford Press, New York.

Jensen, J. 2000. Remote sensing of the environment: an earth resource perspective. Prentice hall series in geographic information science.

Maa- ja metsätalouden tehtävät. Dronedari – Innoite Oy. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://dronedari.fi/etusivu/palvelumme/maa-ja-metsatalouden-tehtavat/>

Onesoil. What the NDVI index is and how it makes a farmer's life easier. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://blog.onesoil.ai/en/what-is-ndvi>

Palva, R. & Teinilä, T. 2021. Droonit kasvuston kuvaamisessa. Digimaatalous.fi. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.digimaatalous.fi/droonit-kasvuston-kuvaamisessa/>

Rennie, J. The Growing Popularity of Multispectral Imaging Drones in Agriculture. Mirragin. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://mirragin.com.au/the-growing-popularity-of-multispectral-imaging-drones-in-agriculture/>

Tehomaa, O. 2020. Tuhkalannoitus vauhditti metsän kasvua – ”Odotukset ylittyivät”. Metsäkeskus. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.metsaan-lehti.fi/uutiset/metsanhoito/tuhkalannoitus-vauhditti-metsan-kasvua-odotukset-ylittyivat.html>

BIOHIILIBETONITUOTTEIDEN KOEVALMISTUS JA TOIMIVUUDEN TESTAUS

Anna Dunderfelt & Miia Sourander & Mikko Hokkanen

Rakentaminen aiheuttaa merkittäviä määriä jätettä ja kuluttaa luonnonvaroja. On arvioitu, että maapallon luonnonvaroista noin puolet kulutetaan rakentamisessa ja rakennuksissa. Rakennussektorin on arvioitu aiheuttavan noin 35 prosenttia kasvihuonepäästöistä. Edistämällä rakennusmateriaalien kiertotaloutta voidaan säästää luonnonvaroja ja vähentää hiilidioksidipäästöjä. (Rakentamisen kiertotalous s.a.) Biohiili voi osaltaan auttaa rakennusteollisuutta vapautumaan hiilestä. Betoni on maailman käytetyin rakennusmateriaali. Betoniteollisuuden käyttävät tuotantoprosessit aiheuttavat 6–7 prosenttia maailman vuotuisista hiilidioksidipäästöistä (Mäki-Petäjä 2022). Biohiilen käyttö rakennusmateriaaleissa on osa vähähiilisyttä ja kiertotaloutta tukevia toimenpiteitä, mutta tuotekehitystä on vielä paljon jäljellä.

Bibe – Biohiilen uudet käyttökohteet rakennusmateriaalina -hankkeessa selvitetään biohiilen teknisiä ominaisuuksia ja sen käyttöä osana rakennusmateriaalien valmistuksessa käytettäviä raaka-aineita. Hankkeen kenttä- ja laboratoriokokeissa tarkastellaan biohiilen käyttöä betonin yhtenä raaka-aineena. Kokeet aloitettiin testaamalla biohiilen soveltumista matalan vaatimustason betonituotteisiin, kuten pihalaattoihin, istutusruukkuihin ja kevyisiin hulevesirakenteisiin. Valmistettavissa tuotteissa vaihtelee sekä biohiilen raaka-aine että sementinkorvausprosentti. Testausten aikana seurataan valmistettujen tuotteiden materiaalien ja rakenteiden ympäristövaikutuksia sekä kemiallista että fysikaalista käyttäytymistä. Hankkeen pilot-mittakaavan kokeet on käynnistetty Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulun Puupolilla elokuussa 2021.

Hankkeen hallinnoijana toimii Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu ja Mikkelin kehitysyritys Miksei Oy osatoteuttajana. Hankkeen päärahoittaja on Etelä-Savon maakuntaliitto Euroopan aluekehitysrahastosta (EAKR). Lisäksi hanke tekee yhteistyötä Suur-Savon Energiasäätiö sr:n, Etelä-Savon Koulutus Oy:n, Betsset Oy:n, Harri Haavikko Oy:n, Benetech Finland Oy:n ja Carbo Culture Oy:n kanssa. Hankkeen kesto on 1.12.2020–31.8.2023.

KÄYTÄNNÖN KOKEISSA TESTATAAN BIOHIILTÄ BETONIN RAAKA-AINEENA

Biohiilen raaka-aineena voi toimia melkein mikä tahansa orgaaninen aines. Biohiilen tuotannolla saadaan jäte- ja sivuvirtabiomassoille arvoa. Erilaisia orgaanisia sivu- ja jätevirtoja voidaan pyrolysoida (hajottaa kuumentamalla), ja jäte muuttuu arvokkaaksi raaka-aineeksi. Biohiili soveltuu useisiin käyttötarkoituksiin, koska sillä on kyky parantaa maaperän ja veden laatua ja se soveltuu hyvin erilaisten alkuperää olevien biomassojen kierrätykseen. Lisäksi se on hiilinieluna pitkäikäinen. (Elo 2017)

Hankkeen pilot-mittakaavan kokeiden avulla selvitetään mahdollisuutta vähentää betonituotteissa sementin määrää korvaamalla sementtiä osaksi biohiilellä. Kokeissa käytettävät biohiilet on valmistettu puupohjaisista raaka-aineista. Hankkeessa valmistettiin syksyllä 2021 koetuotteina pihalaattoja, ruukkuja ja testikuutioita. Biohiilibetonituotteiden valmistuksessa sementtiä korvattiin biohiilellä 1–10 painoprosentilla. Pihalaattoja valmistettiin 11 erilaista, joissa vaihtelevat biohiilen raaka-aine, raekoko ja sementinkorvausprosentti.

Kokeiden kautta lisätään ymmärrystä ja tietoutta siitä, millaisia vaikutuksia biohiililisyksellä on betonimateriaalin valmistusprosessiin ja valmiin betonituotteen ominaisuuksiin. Hankkeessa toteutettavien konkreettisten koetuotteiden avulla pyritään saamaan tietoa optimaalisista biohiilibetoniseoksista. Tarkoituksena on selvittää biohiilibetonin valmistukseen potentiaalisia biohiilen raaka-aineita, raekokoa, sementin korvaussuhdetta ja valmistusmenetelmää.

Valmistettuihin koetuotteisiin tehdään testejä, joilla selvitetään biohiilen vaikutusta betonin ominaisuuksiin. Erilaisilla testeillä selvitetään muun muassa biohiilibetonin puristuslujuutta, tiheyttä ja kestävyyttä. Betonin valmistuksessa tärkeänä tekijänä on myös massan hyvä työstettävyys. Näin ollen valmistusprosessissa seurataan tarkasti eri biohiililisyksien vaikutusta betonimassan valettavuuteen.

PIHALAATOILLE TESTIALUE MIKKELIPUISTOON

Betonin säilyvyyteen vaikuttavat monet seikat. Mekaanisten kuormitusten lisäksi on huomioitava myös ympäristöstä aiheutuvat rasitukset. Suomessa vuodenaikojen vaihtelu aiheuttaa ympäristörasituksia betonille. Esimerkiksi talvella pakkanen voi aiheuttaa betoniin vaurioita, jotka voivat osaltaan lyhentää betonin kestävyyttä sekä käyttöikä. (Tikkanen 2021) Hankkeen käytännönkokeissa tärkeässä roolissa ovat biohiilibetoniin kohdistuvien ympäristörasitusten seuraaminen ja vertaaminen perinteiseen betoniin.

Syksyllä 2021 valmistetut pihalaatat asennettiin saman vuoden marraskuussa Mikkeli-puiston testialueelle. Kenttätutkimuksen aikana seurataan ja vertaillaan biohiilibetonilaattojen

sekä ei betonia sisältävien referenssilaattojen säilyvyyttä ja kestävyyttä. Pihalaatat ovat testialueella tutkimuksen aikana altistuneena eri vuodenaikojen sääolosuhteille niin lämpötila- ja kosteusvaihteluille kuin sateille ja auringonsäteille. Tutkimusalueen pihalaatoitukselle demonstroidaan normaalin piha-alueen rasitusta niin pitkälti kuin se on mahdollista. Marraskuun asennuksen jälkeen testialuetta on käyty seuraamassa ja putsaamassa säännöllisesti talven yli. Talviaikaan pihalaatoitukselle tehtiin lumitöitä, jotta laatoille saatiin demonstroitua piha-alueen kestävyysrasitusta (kuva 1).



KUVA 1. Mikkeliipuiston pihalaattoja seurattiin säännöllisesti talvella 2021–2022 (kuva Miia Sourander).

Hankkeen aikainen testialueen kestävyysseuranta sekä biohiilibetonien puristuslujuustestaukset ja tiheysmittaukset muun muassa antavat tärkeää tietoa biohiilen käyttömahdollisuudesta betoniin pihatuotteisiin. Biohiilen käyttö betonin raaka-aineena voisi mahdollisesti keventää koetuotteita. Toisaalta taas kestävyys- ja kulutusominaisuuksien tulee säilyä riittävinä biohiilen lisäyksen jälkeen, ja näihin saadaan tietoa puristuslujuustestauksilla ja kestävyysseurannalla.

MONITOROINNILLA UUTTA TIETOA

Keväällä 2022 jatkettiin koekappaleiden valmistamista tekemällä kahdenlaista biohiilibetoniseosta ja referenssiseos, joka ei sisällä biohiiltä. Biohiilibetoniseoksiin käytettiin tällä kertaa yhtä biohiililaatua, ja vain sementin korvausprosentti vaihteli. Valmistetuissa biohiilibetonituotteissa sementtiä korvattiin biohiilellä noin 2–5 painoprosentilla. Valmistettavia tuotteita olivat pihalaatat, istutusruukut, testikuutiot ja seinäelementtiä simuloivat testikappaleet. Valumassasta valmistettiin testikuutioita tiheysmittauksia varten. Testikappaleet mallintavat ei-kantavaa seinärakennetta, ja niihin tehdään lämmönjohtavuustestauksia. Pihalaatat ja istutusruukut valmistettiin kenttätutkimusta varten. Pihalaatat asennettiin kesäkuussa 2022 Mikkelipuiston testialueelle pihalaatoituksen jatkoksi. Ruukut sijoitettiin pihalaatoituksen viereen (kuva 2). Pihalaattojen ja istutusruukkujen yhteyteen sijoitettiin esitekyltti, jossa kerrottiin sekä hankkeesta että esillä olevista tuotteista. Esitteestä katsoja saa kokonaiskuvan pihalaattojen valmistuksessa käytetyistä seoksista ja biohiilen osuuksista. Puistossa vierailija pystyy vertailemaan esitteessä olevan sijoittelukartan avulla kunkin laatan ulkonäköä ja rakennetta. Hanketta ja testialueen koekappaleita oltiin esittelemässä Mikkelipuistossa kesällä 2022 Farmarimessujen aikaan.



KUVA 2. Istutusruukut ja pihalaatat kuvattuna Mikkelipuistossa syksyllä 2022. Ruukkujen takana osana kokonaisuutta näkyvät Hyperion Robotics Oy:n betoniset 3D-tulostetut puistonpenkit (kuva Anna Dunderfelt).

Syksyllä 2022 aloitettiin uudet käytännönkokeet Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulun Puupolilla. Ennen valutöiden aloitusta suunniteltiin ja rakennettiin muotti rakennuksen räystäskourun alle sijoitettavalle vesikourulle. Vesikouru muodostuu betonisesta kuppi- ja kouruosasta. Vesikourussa sementtiä korvattiin biohiilellä noin kahden painoprosentin verran sekä referenssinä valmistettiin samanlainen betoninen vesikouru ilman biohiiltä. Biohiilibetonisen vesikoururakenteeseen tehdään visuaalista seurantaä kenttäolosuhteissa. Massoista valmistettiin myös testikappaleita, joista selvitetään muun muassa puristuslujuutta, ääneneristävyyttä ja liukoisuutta.

Syksyn aikana lisäksi valmistettiin laboratoriomittakaavan testeihin koekappaleita purkupuusta valmistetusta biohiilestä useilla biohiilikorvausprosentteilla. Näiden kokeiden avulla pyritään selvittämään muun muassa sitä, kuinka paljon sementtiä voidaan korvata kyseisellä biohiilellä. Valetuista testikuutioista mitataan muun muassa puristuslujuutta, tiheyttä ja haitta-aineiden liukoisuutta. Testien avulla saadaan tietoa purkupuusta valmistetun biohiilen mahdollisuudesta toimia betonissa sementin korvaajana.

Biohiilen käyttömahdollisuuksien tutkiminen, tunnistaminen ja tietoisuuden lisääntyminen edistävät rakennusteollisuuden resurssitehokkuutta ja uusien tuoteinnovaatioiden kehittämistä. Jotta voidaan soveltaa ja hyödyntää biohiiltä uudenlaiseen käyttökohteeseen, tarvitaan myös tietoa siitä, millaisia vaikutuksia on lopputuotteeseen esimerkiksi erilaisilla biohiilen raaka-aineilla. Rakennusmateriaalien kiertotalouden vauhdittamiseksi olisi kannattavaa lisätä tutkimusta etenkin sivuvirroista ja jätteistä valmistettuihin biohiiliin sekä niiden käyttökohteisiin. Bibe-hankkeen tavoitteena on löytää biohiilelle uusia käyttöönotettavia ja kaupallistettavia käyttömahdollisuuksia ja -kohteita rakennusmateriaaleissa ja kevyissä rakenteissa. Tehdyillä demonstraatiokokeilla saadaan hyvää käytännön kokemusta, joka toivottavasti tulee mahdollistamaan kehitettyjen materiaalivaihtoehtojen lisätutkimuksen ja käyttöönoton.

LÄHTEET

Elo, A. 2017. Biohiilen monet mahdollisuudet. Uusiutuvien energiamuotojen päivä, Mustiala 9.3.2017. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://lab.fi/sites/default/files/2018-06/Biohiilen%20monet%20mahdollisuudet.pdf> [viitattu 30.9.2022].

Mäki-Petäjä T. 2022. Betoniin voi nyt sitoa hiilidioksidia – VTT kehitti täysin uuden teknologian. WWW-dokumentti. Saatavilla: <https://www.mtvuutiset.fi/artikkeli/betoniin-voi-nyt-sittoa-hiilidioksidia-vtt-kehitti-taysin-uuden-teknologian/8414728> [viitattu 22.9.2022].

Rakentamisen kiertotalous. s.a. Ympäristöministeriö. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://ym.fi/rakentamisen-kiertotalous> [viitattu 13.9.2022].

Tikkanen, J. 2021. Betonin peruskurssi. Perustietoa betonista. Betoniyhdistys. PDF-dokumentti. Saatavissa: https://www.betoniyhdistys.fi/media/kurssimateriaalia/peruskurssi-2021_jt.pdf [viitattu 13.9.2022].

PURKUMATERIAALIEN HAITALLISET AINEET JA NIIDEN TUNNISTAMINEN

Leena Pekurinen

Suomessa syntyy vuosittain miljoonia tonneja rakentamisjätettä. Vuonna 2020 rakentamisen jätettä syntyi noin 13 689 tuhatta tonnia. Siitä 314 tuhatta tonnia oli vaarallista jätettä. Rakentamisjätteet kattavat uudis- ja korjausrakentamisen, purkamisen sekä maa- ja vesirakentamisen jätteet (Tilastokeskus). Suurin osa rakentamisjätteestä muodostuu rakennusten purkamisesta, ja pääosa siitä on mineraalijätettä.

Purkumateriaalien uusiokäyttöä voivat rajoittaa niissä esiintyvät aineet, jotka voivat olla ympäristölle tai terveydelle haitallisia. Nykyisin haitallisiksi tunnistettavia aineita on käytetty rakennusmateriaaleissa aina 1870-luvulta saakka, kunnes niiden haitalliset ominaisuudet on tunnistettu ja käyttö rakennusmateriaaleissa kielletty. Esimerkiksi asbestia on käytetty 1920-luvulta vuoteen 1994 asti, jolloin sen käyttö kiellettiin. Haitallisia aineita kartoitetaan ennen purku-urakan aloittamista asbesti- ja haitta-ainekartoituksella eli AHA-kartoituksella. Siinä selvitetään yleisesti lähinnä maankäyttö- ja rakennusasetuksessa (MARA-asetus) mainitut haitalliset aineet, mutta purkumateriaalit voivat sisältää myös muita aineita, jotka voivat olla ympäristölle tai terveydelle haitallisia.

RAPURC – Rakennus- ja purkujätteiden uudelleenkäytön ja kierrätyksen parantaminen toimintamallien ja tiedonsiirron kehittämisen avulla -hankkeessa tavoitellaan purettavien ja rakennettavien kohteiden kierrätyskelpoisen materiaalin tiedonkeruun digitalisointia ja automatisointia. Lisäksi RAPURC-hankkeessa kerätään rakennus- ja purkujätteen materiaali- ja ympäristöturvallisuutta koskevia tietoja sekä etsitään parhaita käytäntöjä haitallisten aineiden tunnistamiseksi purkumateriaaleista. Keskeisinä tavoitteina on edistää rakentamisen kiertotaloutta ja sitä kautta vähentää hiilidioksidipäästöjä ja uusien raaka-aineiden käyttöä. Hanketta hallinnoi Mikkelin kehitysyritys Miksei Oy. Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu on hankkeessa osatoteuttajana. Hanketta rahoittaa Etelä-Savon maakuntaliitto Euroopan aluekehitysrahastosta (EAKR).

LAKI VELVOITTAAN SELVITTÄMÄÄN PURETTAVIEN RAKENNUSTEN HAITTA-AINEET

Suomessa keskeisimmät rakentamista ja purkamista koskevat säädökset ovat maankäyttö- ja rakennuslaki (132/1999) sekä maankäyttö- ja rakennusasetus (895/2021). Purkumateriaalien hyödyntämisen kannalta keskeinen säädös on valtioneuvoston asetus eräiden jätteiden hyödyntämisestä maarakentamisessa (843/2017, MARA-asetus). Siinä on annettu betoni- ja tiilimurskeelle haitallisten aineiden raja-arvot, joiden tulee alittua, jotta niitä voidaan hyödyntää maarakentamisessa. Niiden rakennus- ja purkumateriaalien käsittelyssä, joita ei voi hyödyntää, on noudatettava jätelainsäädännön lakeja ja asetuksia.

Maankäyttö- ja rakennuslakia uudistetaan parhaillaan. Sen rakentamista koskevat luvut siirtyvät uuteen rakentamislakiin, ja jäljelle jäävän osuuden nimeksi tulee alueidenkäyttölaki. Uusi rakentamislaki tulee voimaan vuoden 2024 alusta. Siinä on useita siirtymäsäännöksiä, ja sen perusteella annettavilla asetuksilla on omat voimaantuloaikataulunsaa. Uudessa rakentamislaissa edellytetään rakennus- ja purkumateriaalien määrien ja laadun ilmoittamista purkumateriaali- ja rakennusjätteselvityksellä. Selvityksen tulee sisältää myös vaarallisten jätteiden ja rakennuspaikalta pois kuljetettavien maa- ja kiviainesten määrä. Purkumateriaali- ja rakennusjätteselvitys tulee tehdä rakentamis- tai purkuluvan hakemisen yhteydessä, ja sitä voi täydentää hankkeen valmistuttua. Jo nykyinen maankäyttö- ja rakennuslaki edellyttää rakennusjätteselvityksen tekemistä, mutta uudessa laissa selvitysvelvollisuutta tarkennetaan ja laajennetaan.

Asbestin varalta on säädetty laki eräistä asbestipurkutyötä koskevista vaatimuksista (684/2015) ja valtioneuvoston asetus asbestityön turvallisuudesta (798/2015). Ne tulivat voimaan vuoden 2016 alusta. Lain mukaan ennen vuotta 1994 valmistuneille rakennuksille on tehtävä asbestikartoitus ennen purkutöiden aloittamista. Asetuksessa annetaan tarkempia määräyksiä asbestityöstä.

POP-yhdisteiden (pysyvät orgaaniset yhdisteet, Persistent Organic Pollutant) haittojen ehkäisemiseksi on tehty maailmanlaajuinen niin sanottu Tukholman sopimus, jonka säädökset on Euroopan unionissa pantu täytäntöön Euroopan parlamentin ja neuvoston asetuksella (EU) 2019/1021 (POP-asetus). Se asettaa rajoituksia POP-yhdisteiden käytölle ja purettavien rakennusten hyödyntämiselle silloin, kun niissä on POP-yhdisteitä. Suomessa asetus on pantu täytäntöön jätelain muutoksen (713/2021) yhteydessä. Siinä on mukana POP-jätteitä koskeva kirjanpitovelvollisuus sekä velvollisuus laatia siirtoasiakirja POP-jätteiden kuljetuksesta. Veloitteiden vuoksi on tullut tarve POP-jätteiden tunnistamiseen koko jätehuolto-ketjussa. Jätelain muutokset ovat tulleet voimaan 19.7.2021. Suomen ympäristökeskus on parhaillaan laatimassa opasta POP-jätteiden tunnistamista ja kirjaamista varten. Luonnos oppaasta on jo olemassa, ja se on käynyt lausuntokierroksella. (Ympäristöministeriö 2022)

AHA-KARTOITUKSELLA SELVYYTTÄ RAKENNUSTEN HAITTA-AINEISTA

Yleisimmät rakennusmateriaaleissa esiintyvät haitta-aineet ovat asbesti, PCB-, PAH- ja POP-yhdisteet, kreosootit, raskasmetallit, öljyhiilivedyt sekä mikrobivaurioiset rakenteet. Purkamisen aikana syntyvä betoni- ja kivi- eli kvartsi- ja silikaattipöly on terveydelle haitallista. RT-kortin *RT 18-11245 HAITTA-AINETUTKIMUS. Rakennustuotteet ja rakenteet* liitteessä 2 on esitetty eri aikakausina markkinoilla olleiden rakennusmateriaalien ja -tarvikkeiden mahdollisesti sisältämät haitta-aineet (RT 18-11245).

Asbesti- ja haitta-ainekartoitus (AHA-kartoitus) on tehtävä sen selvittämiseksi, miten purettuja materiaaleja voidaan hyödyntää ja jatkokäsitellä. Lisäksi urakoitsija on vastuussa purkutyön turvallisuudesta, minkä vuoksi on tiedettävä, mitä haitallisia aineita materiaaleista voi irrota hengitysilmaan.

AHA-kartoitus on osa purkukartoitusta. AHA-kartoituksessa selvitetään eri aikakausina rakennuksissa käytettyjen materiaalien ympäristöturvallisuus ja se, voidaanko materiaalia hyödyntää jollakin tavalla purkamisen jälkeen. Jotkut materiaalit voivat sisältää haitallisia aineita niin paljon, ettei niitä voida hyödyntää materiaalina eikä myöskään sijoittaa kaatopaikoille. Niitä voidaan hyödyntää energiantuotannossa polttamalla. AHA-kartoituksessa selvitetään asbestin lisäksi myös muut haitta-aineet. Haitta-aineita on voinut rakennuksen käyttötarkoituksesta riippuen joutua myös maaperään tai rakenteisiin, esimerkiksi korjaamurakennusten lattioihin imeytynyt öljy.

Asbestin ja haitta-aineiden tunnistaminen tapahtuu ottamalla materiaalinäytteitä ja teettämällä niistä analyysjä. Luotettavan AHA-kartoituksen tekemiseen vaaditaan riittävä ammattitaito ja kokemus. Rakennuksen ikä ja käyttöhistoria osaltaan antavat viitteitä mahdollisista haitta-aineista. Rakennustietosäätiön RT-ohjeessa *RT 18-11245 Haitta-ainetutkimus – Rakennustuotteet ja rakenteet* annetaan ohjeita lainsäädännön mukaan vaaralliseksi määriteltyjä haitta-aineita sisältävien rakennusmateriaalien tutkimiseen. *RT 18-11244 Haitta-ainetutkimus – Tilaajan ohje* ohjeistaa haitta-ainetutkimuksen tilaajaa.

POP-YHDISTEET VIELÄ MELKO TUNTEMATON ALUE

Pysyvät orgaaniset yhdisteet eli POP-yhdisteet ovat ympäristölle ja terveydelle haitallisia yhdisteitä, jotka hajoavat hitaasti ympäristössä ja kertyvät eliöstöön. Ne kulkeutuvat myös herkästi sellaisiin paikkoihin, joissa niitä ei ole käytetty tai valmistettu, eikä niiden pitkäaikais- tai yhteisvaikutuksia tunneta vielä kovinkaan hyvin.

POP-yhdisteitä on käytetty rakentamisessa aina 1950-luvulta lähtien esimerkiksi betonilementtien sekä ikkunoiden ja ovien saumaussmassoissa. Vuosina 1980–2017 rakennettujen

talojen EPS- ja XPS-eristeet (mm. sandwich-elementit sekä seinä- ja julkisivueristeet) voivat niin ikään sisältää POP-yhdisteitä. Kuvassa 1 näkyy 1970-luvulla rakennetun asuinkerrostalon betonielementtiseinä, jonka elementtien välissä on joustava sauma.



KUVA 1. Asuinkerrostalon betonielementtiseinä (kuva Leena Pekurinen)

POP-yhdisteiden haitallisuuteen rakennusten purkumateriaaleissa on vasta viime vuosina alettu kiinnittämään huomiota, eivätkä ne yleensä ole mukana haitta-ainekartoituksissa. Rakennuksissa voi esiintyä POP-yhdisteistä lähinnä polykloorattuja bifenyylejä (PCB), lyhytketjuisia klooriparafiineja (SCCP), heksabromisyklododekaania (HBCDD) ja bromidifenyylieettereitä (BDE-yhdisteet). POP-yhdisteiden selvittäminen purkumateriaaleista tapahtuu laboratorioanalyysin avulla materiaalinäytteistä.

HAITTA-AINEIDEN TUTKIMUS RAPURC-HANKKEESSA

RAPURC-hankkeessa pilot-kohteena on Mikkelissä sijaitseva vuonna 1978 rakennettu asuinkerrostalo. Rakennus on tarkoitus purkaa talvella 2022–2023. Osa asunnoista on alkuperäisessä kuosissaan, mutta joitakin asuntoja on remontoitu äskettäin. Rakennukseen on aiemmin tehty asbesti- ja haitta-ainekartoitus. RAPURC-hankkeessa tehtiin lisäselvityksiä haitta-aineiden osalta. Tavanomaisten haitallisten aineiden lisäksi selvitettiin muutamien materiaalien POP-yhdisteiden pitoisuuksia. Näytteet otettiin 30.8.2022 ja ne lähetettiin ALS Finland Oy:n laboratorioon analysoitavaksi. Taulukossa 1 on näkyvät otetut näytteet ja niistä pyydetty analyysit.

TAULUKKO 1. Purkukohteesta otetut näytteet ja niistä tehtävät analyysit

| Näyte | Näytteenottoaika | Analyysit |
|------------------------------|---|--|
| betoni | parvekkeen betonikaide | raskasmetallit, PAH- ja PCB-yhdisteet |
| betoni | huoneiston väliseinä | raskasmetallit, PAH- ja PCB-yhdisteet |
| lastulevy | huoneiston lastulevyseinä maalipintoineen (väliseinä) | raskasmetallit, PCB- ja POP-yhdisteet, hiilivedyt C5–C40 |
| lastulevy | huoneiston lastulevyseinä ilman pinnoitetta (väliseinä) | formaldehydi |
| mineraalivilla | kylpyhuone-elementin eristevilla | asbesti |
| saumamassa | ulkoseinän betonielementtien elastinen saumamassa | raskasmetallit, PCB- ja POP-yhdisteet |
| muovilattia + kiinnityслиima | huoneiston alkuperäinen muovilattia | asbesti, raskasmetallit, PCB-yhdisteet, ftalaatit |
| eristemateriaali | huoneiston oven eriste | asbesti |

ALS Finland Oy:n käyttämät analyysimenetelmät ovat akkreditoituja, ja yleisimmin käytössä on kaasukromatografiaan (CG) perustuva menetelmä. Taulukossa 2 on esitetty eri haitta-aineille käytetyt menetelmät.

TAULUKKO 2. Haitta-aineiden määrittämissä käytetyt analyysimenetelmät ALS Finland Oy:n laboratoriossa

| Haitta-aine | Analyysimenetelmä |
|--------------------------|---|
| PCB-yhdisteet | GC-ECD (elektroninsiippausdetektori) |
| PAH-yhdisteet | GC-MS (massaspektrometria) |
| Klooratut parafiinit | GC-MS (massaspektrometria) |
| Bromatut palonestoaineet | GC-MSD (massaselektiivinen detektori) |
| Öljyhiilivedyt C10-C40 | GC-FID (liekki-ionisaatiotektori) |
| Kloorifenolit | GC-MS (massaspektrometria) |
| Raskasmetallit | ICP-OES, AFS (atomifluoresenssispektrometria) |
| Hiilivedyt C5-C40 | GC-MS (massaspektrometria) |
| Ftalaatit | GC-MS (massaspektrometria) |
| Formaldehydi | spektrofotometrinen / sisäinen menetelmä |
| Asbesti | SEM-EDS |

Kaasukromatografisia (GC) menetelmiä on käytetty useimmissa analyysissä. Niitä on käytetty kaikissa muissa tapauksissa paitsi raskasmetallien, formaldehydin ja asbestin analyysissä. Raskasmetallien analysoinnissa on käytetty ICP-OES (induktiivisesti kytketty plasma-atomiemissiospektrometria)- ja AFS (atomifluoresenssi) -menetelmiä. Formaldehydin analysointiin on käytetty spektrofotometristä sisäistä menetelmää ja asbestin määrittämisessä pyyhkäisyelektronimikroskopiaa (SEM), johon on yhdistetty energiadiispersiivinen röntgenspektroskopia (EDS).

Laboratorioanalyysien lisäksi hankkeessa testataan röntgensäteilyyn perustuvan Niton XRF -alkuaineanalyysointimen käyttöä raskasmetallipitoisuuksien analysointiin materiaalinäytteistä. Tällaisella pintoja rikkomattomalla menetelmällä analyysit voidaan tehdä paikan päällä rakenteita rikkomatta. Uttoliuoksista tehtävien metallipitoisuuksien määritysten pitää täyttää standardin SFS-EN 16192 vaatimukset. Samaa vaatimusta ei ole ilmeisesti esitetty XRF-analyysointimen käytölle. Toisaalta standardista poikkeavia menetelmiä voidaan käyttää, jos tunnetaan niiden tulosten vastaavuus edellä mainitussa standardissa kuvattujen menetelmien tuloksiin.

Laboratorioanalyysien tuloksia verrataan haitta-aineille annettuihin raja-arvoihin ja aiemmin tehdyn AHA-kartoituksen tuloksiin. Lisäksi raskasmetallimääritysten osalta tehdään vertailuja laboratorioanalyysimenetelmien ja XRF-menetelmän välillä. Tarkemmat tulokset ja niistä tehtävät johtopäätökset esitetään myöhemmin hankkeen loppujulkaisussa.

LÄHTEET

RT 18-11245 HAITTA-AINETUTKIMUS. Rakennustuotteet ja rakenteet.

Tilastokeskus. 2022. StatFin jäteilasto. Jätteiden synty toimialoittain, 2018–2020. WWW-dokumentti. Saatavissa: https://pxweb2.stat.fi/PxWeb/pxweb/fi/StatFin/StatFin__jate/statfin_jate_pxt_12qw.px/table/tableViewLayout1/ [viitattu 6.9.2022].

Ympäristöministeriö. 2022. Hankkeet ja lainvalmistelu. POP-jätteen tunnistusopas. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://ym.fi/hankesivu?tunnus=YM012:00/2022> [viitattu 26.9.2022].

RAPURC-HANKKEESEEN KUULUVAN PURKUKARTOITUS- SOVELLUKSEN KEHITYSVAIHEET

Kai Möller & Kimmo Haapea

Eräs RAPURC – Rakennus- ja purkujätteiden uudelleenkäytön ja kierrätyksen parantaminen toimintamallien ja tiedonsiirron kehittämisen avulla -hankkeen tavoitteista on purettavien/rakennettavien kohteiden kierrätyskelpoisten materiaalien ja rakennusosien kartoituksen digitalisointi. Kiertotalouden toimintamalleja kehittämällä kierrätettävien materiaalien kiertoa voidaan tehostaa, jolloin samalla vähennetään hiilidioksidipäästöjä.

Hankkeen hallinnoijana toimii Mikkelin kehitysyritys Miksei Oy ja osatoteuttajana Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu Oy. Muita hankekumppaneita ovat Motiva Oy ja ympäristöministeriö (YM). Ohjelmointi- ja pilvipalveluiden osalta hanke on yhteistyössä mikkeliläisen ohjelmistotalo Metatavu Oy:n kanssa. Substanssiosaamisen yhteistyökumppaneita ovat rakentamisen kiertotalouden asiantuntijayritykset Kierivä Oy ja Ytekki Oy. Hankkeen päärahoittaja on Etelä-Savon maakuntaliitto Euroopan aluekehitysrahastosta, ja hankkeen kesto on 1.10.2020–31.7.2023.

HANKKEEN TAUSTAA DIGITALISAATION OSALTA

Purettavien rakennusten rakennusosien, materiaalien ja kiintokalusteiden kierrättämisen suuri haaste on tiedon saaminen kauppapaikkoihin. Myös kysynnän ja tarjonnan kohtaantoongelmat aiheuttavat ongelmia. Kauppapaikkojen tunnettuus on edelleen heikkoa, mikä näkyy kauppapahtumien pienessä määrässä.

Kysyntä ja tarjonta eivät kohtaa, jos tieto kierrätyskelpoisista rakennusosista saavuttaa niitä tarvitsevan tahon liian myöhään tai ei ollenkaan. Tällöin ei ehditä tekemään suunnitelmia kierrätyskelpoisten rakennusosien käytöstä jo rakennushankkeen suunnitteluvaiheessa. Mitä aikaisemmassa vaiheessa tieto purkukohteen hyödynnettävistä rakennusosista saadaan, sitä paremmat ovat mahdollisuudet saada ne kiertoon.

Myös Suomen tiukat terveys- ja laatuvaatimukset rajoittavat rakennusosien kierrätystä. Moni osa päättyy jätteeksi järkevän käytön sijaan.

Kohtaanto-ongelmassa ja tiedon levittämisessä apuna on kiertotalouden digitalisaatio. RAPURC-hankkeessa kehitetään tiedonkeruu- ja tietojärjestelmää tehostamaan kierrätystä ja edistämään rakennusosien uudelleenkäyttöä.

Purkukartoituksissa on ollut mahdollisuus käyttää YM vuonna 2019 kehittämää Excel-taulukkopohjaa. YM on toivonut sen muuttamista digitaaliseen muotoon. Ministeriön toteuttama Excel-purkukartoituslomake on koettu irralliseksi ja vaikeasti tilastoitavaksi. Purkukartoitussovelluksen avulla vastaavat tiedot tallennetaan kootusti tietokantaan ja sitä kautta tarvitsevien tahojen käyttöön.

MIKSI ERILLINEN SOVELLUS RAKENNUSTEN PURKUKARTOITUKSEEN?

Suomessa eri tahoilla on voimakkaasti aloitettu valtionhallinnon digitalisoiminen. Myös rakennetun ympäristön digitalisointi edistyy kovaa vauhtia. Menossa on useita hankkeita, joista mainittakoon Ryhti-hanke. Sen tarkoituksena on edistää seuraavia laajempia tavoitteita:

- Yhteen toimiva tieto on esteettömästi käyttäjien saatavissa koko yhteiskunnassa.
- Laadukas tieto auttaa tekemään parempia päätöksiä sekä edistää liiketoimintaa ja palveluja.

Edellä mainittuja tavoitteita varten ollaan luomassa laajassa yhteistyössä valtakunnallinen rakennetun ympäristön tietojärjestelmä RYTTJ. Tietojärjestelmä rakennetaan osana ympäristöministeriön ja Suomen ympäristökeskuksen laajempaa Ryhti-hanketta. Yhteisellä alustalla tiedon kulku eri järjestelmien välillä on jouhevaa ja toivottavasti myös kitkatonta. RYTTJ-tietojärjestelmä täydentää valtion tiedonhallintakokonaisuutta.

Xamkin, Mikkelin kehitysyritys Miksei Oy:n ja Ytekki Oy:n yhdessä sidosryhmien kanssa kehittämä purkukartoitussovellus vastaa osaltaan digitalisaation vaatimuksiin. Sovelluksesta saatuja kokemuksia sekä hankkeen aikana luodun RAPURC-tietokannan sisältämää dataa voidaan hyödyntää rakennusten purkamisprosessin seuraavissa vaiheissa. Näin vältetään tietojen syöttämistä moneen kertaan, koska tarvittava data on jo tietokannassa olemassa. Myös virheellisen tiedon esiintyminen rakennetun ympäristön tietoprosesseissa vähenee, koska manuaaliset ”moneen kertaan” -syötöt vähenevät.

PURKUKARTOITUS.FI IN ENGLISH KARTOITUKSET YLLÄPITO

Kartoitus Valmis

Uudelleenkäytettävät rakennusosat

| <input type="checkbox"/> | Materiaali | Rakennusosa | Käyttökelpoisuus | Maara | Yksikkö | Lisätieto |
|--------------------------|-----------------------------|------------------------------|------------------|-------|------------------|--|
| <input type="checkbox"/> | Muut purettavat materiaalit | Syöksytörvet, materiaali ... | Heikko | 56 | Juoksumetriä (m) | Paljon pieniä kohteja. |
| <input type="checkbox"/> | Ovi - Sisä | Välilavat | Hyvä | 25 | Kappaleita (kpl) | Jalavilliuunnottettu kikkuvanerit. Uu... |
| <input type="checkbox"/> | Ikkuna - Ulko | Ulkoikkunoita 2000-luvul... | Hyvä | 14 | Kappaleita (kpl) | Good condition. No impregnation in tr... |
| <input type="checkbox"/> | Ovi - Sisä | Ovia | Ei arvioitu | 5 | Kappaleita (kpl) | |
| <input type="checkbox"/> | Puutavara - Runkopuu | Suhteellisen puhtaasta ru... | Hyvä | 50 | Tonnia (tn) | Noin 100 m ³ era suhteellisen puhtaast... |

1-5 of 5

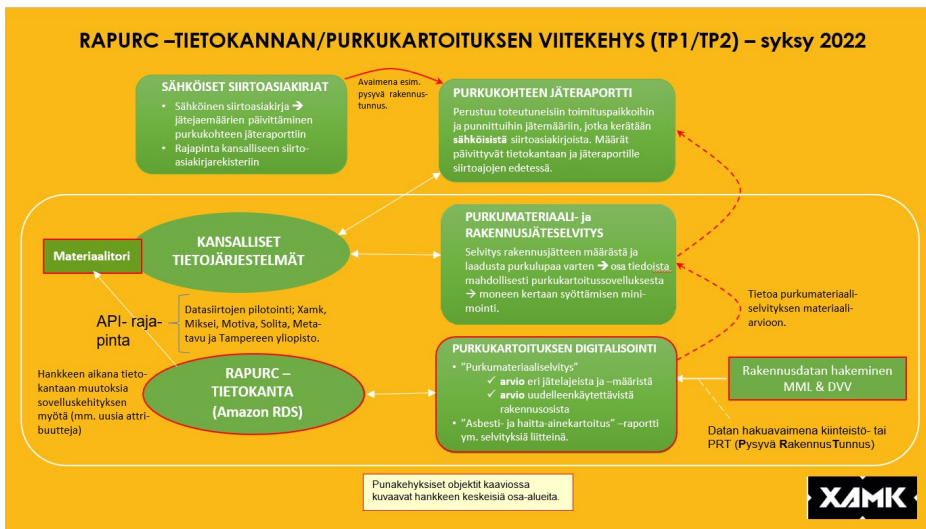
KUVA 1. Esimerkki purkukartoitussovelluksen Uudelleenkäytettävät rakennusosat -välilehdestä selaimessa (kuva Kai Möller).

YM:n jatkosuunnitelmissa on, että purkukartoitussovelluksen tietoja voitaisiin hyödyntää purkukartoituksen jälkeen tehtävässä purkumateriaali- ja rakennusjäteselvityksessä. Dataa siirretäisiin API-rajapintojen (Application Programming Interface) kautta sen tietosisällön osalta, joka katsotaan tarpeelliseksi.

Lisäksi suunnitteilla on kierrätyskelpoisten rakennusosien tietojen siirtäminen Materiaalitori-sivuston kierrätettävien materiaalien ilmoituksiin (materiaali, joka ei ole jätettä). Tavoitteena on saada tieto kierrätyskelpoisista rakennusosista yleiseen tietoisuuteen niin nopeasti kuin mahdollista. Usein rakennus puretaan jopa vuosien päästä, kun purkupäätös on tehty. Jos kierrätettävät rakennusosot inventoidaan jo purkuhankkeen suunnitteluvaiheessa, ne saadaan nopeammin, ehjempinä ja parempikuntoisina kiertoon.

Sama koskee sisäpurkua. Kun kiintokalusteiden ja irtaimiston irrottaminen ja siirtäminen voidaan aloittaa mahdollisimman aikaisessa vaiheessa, materiaali säilyy parempikuntoisena kierrätykseen.

Kuvassa 2 on esitetty purkukartoitussovelluksen sijoittuminen rakennetun ympäristön tietojärjestelmään. Kuvasta puuttuvat kauppapaikat, jotka voisivat välittää rakennusosia, joista niiden omistaja saisi rahallisen korvauksen. Täsmennyksenä mainittakoon, että Materiaalitori ei ole varsinainen kauppapaikka, vaan sen kautta etsitään vastaanottajia kierrätyskelpoisille rakennusosille.



KUVA 2. Purkukartoitussovellus ja sen linkittyminen rakennetun ympäristön järjestelmiin (kuva Kai Möller).

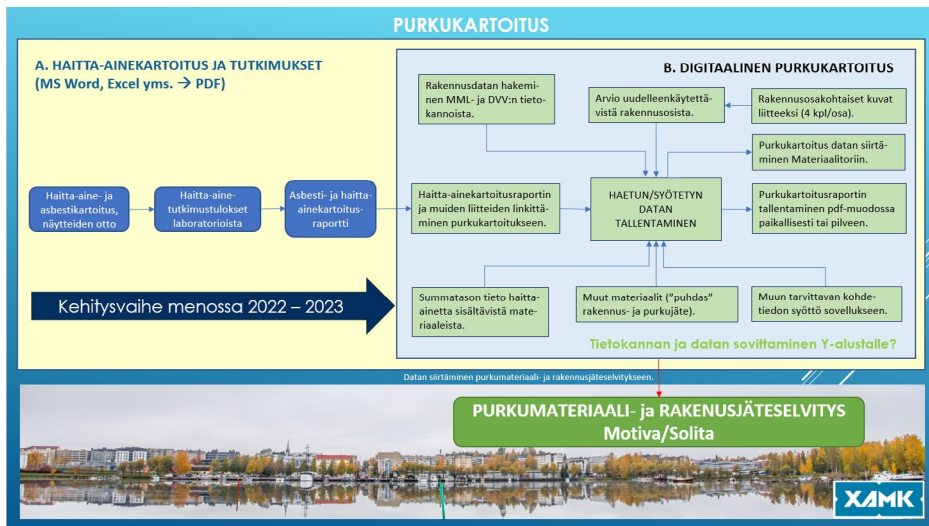
SOVELLUKSEN SUUNNITTELU JA TOTEUTUS

Vuoden 2021 aikana suunniteltiin tietokanta, sen luokat (tietokantataulut) ja attribuutit (kentät). Tietokannan suunnittelu- ja testiversio toteutettiin HeidiSQL- tietokannan hallintajärjestelmällä (TKHJ), jolla varmistettiin myös tietokanta-avaimien toimivuus (linkit tietokantataulujen välillä). Tietokantatyypiksi valittiin suosittu MariaDB, joka on legendaarisen MySQL-tietokannan kehittyneempi versio. Käytännössä molempien tietokantatyypien syntaksit ovat samat. Tietokantatyypin valinnalla varmistettiin yhteensopivuus pilvipalveluihin.

Sovelluksen suunnittelu ja toteutus aloitettiin syys–lokakuun vaihteessa 2021 yhdessä mikkeliläisen ohjelmistotalo Metatavu Oy:n kanssa. Testiversio oli käytettävissä joulukuussa 2021. Suunnittelussa ja toteutuksessa kiinnitettiin huomiota helppokäyttöisyyteen. Ohjelma onkin saanut ulkopuolisilta testaajilta kiitosta selkeydestään ja käytettävyydestään.

Syksyn 2021 aikana pidettiin säännöllisesti useita sprinttipalavereita, joissa tarkasteltiin ohjelmakehityksen tilannetta ja tehtiin suunnitelmia eteenpäin. Suunnitteluryhmän jäsenet testasivat sovelluksen kehitysversioita ja kirjasivat havaintoja sen toimivuudesta ja toiminoista. Palautteet käytiin läpi seuraavissa sprinttipalavereissa.

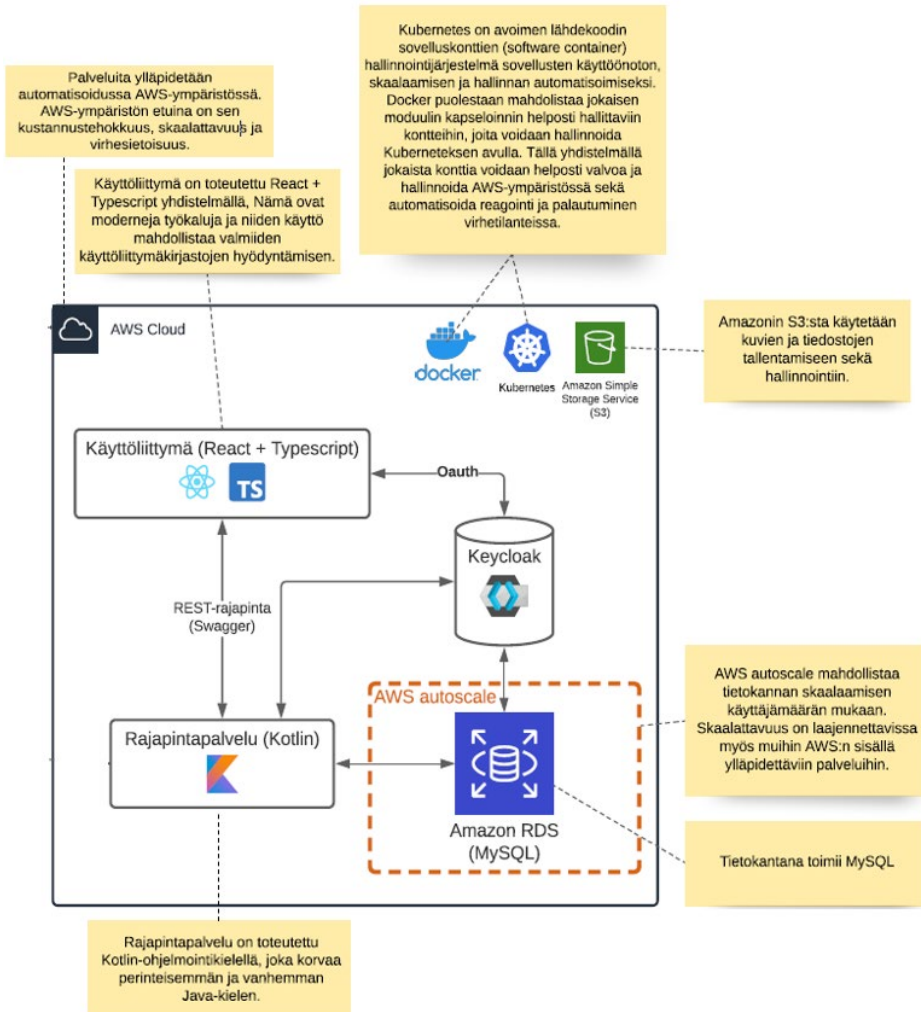
Kuvassa 3 on esitetty purkukartoitussovelluksen tärkeimmät toiminnot kaaviona. Kuvasta saa käsityksen siitä, mitä sovellus sisältää, mitä sovellukseen tallennetaan ja mitä dataa lähtee ulospäin.



KUVA 3. Purkukartoitussovelluksen tärkeimmät toiminnot ja osa-alueet (kuva Kai Möller, valokuva Manu Eloaho).

Purkukartoitussovellus on selainpohjainen (Chrome-/Edge-yhteensopiva), ja se on toteutettu pilvipalveluja hyödyntäväksi sovellukseksi. Tuotantoympäristö (ohjelmat, tietokanta, tietoturva ja sovellus) sijaitsevat AWS:n (Amazon Web Services) Frankfurtin konesalissa (pilvipalvelin). Testiympäristö sijaitsee Ohiossa Yhdysvalloissa.

Purkukartoitussovellus on riippuvainen erilaisista kirjastoista, lisäosista ja asetuksista. Ajokelpoinen ohjelmisto koostuu sovelluksen koodin lisäksi monista erilaisista ohjelma-komponenteista. Kuvassa 4 on esitetty purkukartoitussovelluksen arkkitehtuuri. Kaaviosta saa käsityksen siitä, kuinka monesta ”palasesta” sovelluksen käyttö koostuu.



KUVA 4. Purkukartoitussovelluksen arkkitehtuuri (kuva Metatavu Oy).

PURKUKARTOITUKSEN SOVELLUSKEHITYS

Sovelluskehityksen iso askel otettiin eri asiantuntijaorganisaatioille pidetyissä purkukartoitussovelluksen koulutustilaisuuksissa, joita pidettiin tammi–kesäkuun 2022 aikana vajaa kymmenen. Niissä sovelluksesta saatiin palautetta ja kehitysehdotuksia sekä jonkin verran myös jälkikommentteja sähköpostitse.

Havaituista virheistä ja kehitysehdotuksista laadittiin työlistä, jota toteutetaan Xamkin sekä mahdollisesti myös Metatavu Oy:n toimesta syksyn 2022 ja alkuvuoden 2023 aikana. Kaikkia toivottuja muutoksia ja parannuksia ei voida toteuttaa, koska käytössä oleva

rahamäärän rajallisuus asettaa omat haasteensa. Kehitystyötä kuitenkin helpottaa se, että osa muutoksista voidaan tehdä Xamkin omana työnä.

Alkuperäisessä kehitysuunnitelmassa oli purkukartoitussovelluksen kommunikointi rajapintojen kautta kiertoon.fi-kauppapaikan kanssa (ks. kuva 2). Tällä hetkellä rajapintakehityksessä keskitytään Materiaalitorin suuntaan. Jos aikaa ja resursseja jää, kiertoon.fi on toteuttamiskelpoinen testikohde.

Syksyn 2022 aikana kehitetään tiedonsiirto purkukartoitussovelluksesta Motivan ylläpitämään Materiaalitorin tietokantaan, ja se tapahtuu API-rajapinnan kautta. Koska osaa Materiaalitorin tarvitsemasta datasta ei ole purkukartoitussovelluksessa, tarvitaan väliohjelma, jossa puuttuvat tiedot voidaan syöttää ennen niiden siirtoa Materiaalitorin tietokantaan.

Mukana edellä mainitussa API-rajapinnan kehitystyössä ovat Motiva, Solita, Mikkelin kehitysyhtiö Miksei Oy, Tampereen yliopisto (TUNI), Metatavu Oy ja Xamk. TUNI:sta koottu opiskelijaryhmä tekee ehdotuksen siitä, miten ja millä tekniikalla Materiaalitori ja purkukartoitussovellus voisivat kommunikoida keskenään. Esityksen tulee olla valmis vuoden 2022 loppuun mennessä.

Datan siirtämisen lisäksi hankkeen aikana testataan myös datan hakua RAPURC-tietokantaan. Digi- ja väestötietoviraston (DVV) kautta on haussa lupahakemus maksullisen rajapinnan koekäyttöä varten. Mikäli DVV hyväksyy lupahakemuksen, Maanmittauslaitos (MML) toimittaa Xamkille käyttäjätunnuksen ja salasanan rajapinnan käytön aloittamiseksi. Rajapinta on XML-tyyppinen, joka rajapintakyselyissä alkaa nykyisin olla jo hieman vanhentunut formaatti.

Haettava rakennusdata sisältää rakennuksen ominaisuustietoja, jotka syötetään purkukartoitussovellukseen tällä hetkellä manuaalisesti. Edellä kuvattu toiminnallisuus mahdollistaa rakennusdatan oikeellisuuden, poistaa virhesyötteen sekä luonnollisesti säästää aikaa. Datan hakeminen tapahtuu joko kiinteistö- tai PRT-tunnuksen avulla (Pysyvä RakennusTunnus), jonka jokainen uusi rakennus saa tälläkin hetkellä.

TULOKSET

Hankkeessa luodaan uusi digitaalinen tietojen keräys- ja hallintajärjestelmä, joka sisältää purkukartoitussovelluksen ja tietokannan. Tietojärjestelmäkokonaisuus voidaan skaalata valtakunnalliseksi. Järjestelmästä voidaan siirtää dataa muihin valtakunnallisiin tietojärjestelmiin ja myös hakea dataa muista järjestelmistä.

KIERTOVIRRAT-HANKKEESSA SELVITETTIIN TERMISTEN LIETTEENKÄSITTELYMENETELMIEN MAHDOLLISUUKSIA

Salla Pulliainen & Heikki Tirkkonen

Kiertovirrat – Jalostetut jätevedet ja lietteet bio- ja kiertotalouden raaka-ainevirroiksi -hankkeessa selvitettiin puhdistamolietteiden uusia käsittelymenetelmiä ja -ratkaisuja. Lietteen käsittelytekniikoita tarkasteltaessa selvitettiin erityisesti termisten lietteenkäsittelymenetelmien investointi- ja käyttökustannuksia, energiankulutusta, kilpailukykyä ja soveltuvuutta Suomen olosuhteisiin. Termististä menetelmistä voi olla hyötyä esimerkiksi käsiteltäessä suuria määriä puhdistamolietettä, mutta huomioon tulee ottaa lietteen jatkokäyttömahdollisuudet ja prosessien teknistaloudellisuus. Hankkeen toteutusaika oli 1.5.2019–31.12.2021. Hanketta rahoitti Etelä-Savon ELY-keskus Euroopan aluekehitysrahastosta, Mikkelin vesilaitos sekä Aquazone Oy.

PUHDISTAMOLIETTEEN TERMINEN KÄSITTELY

Suomessa puhdistamoliete käsitellään pääasiassa mädättämällä tai kompostoimalla, jolloin lopputuotteena saadaan esimerkiksi biokaasua ja maanparannukseen soveltuvia jakeita. Lietettä voidaan käsitellä myös erilaisin termisin menetelmin, ja esimerkiksi muualla Euroopassa lietteen poltto onkin yleinen lietteenkäsittelymenetelmä. Polton lisäksi muita termisiä menetelmiä ovat muun muassa lietteen torrefointi, pyrolysointi ja kaasutus.

Puhdistamolietteen termisen kuivauksen tavoitteena on lietteen massan vähentäminen, lämpöarvon nostaminen ja massan stabilointi ja hygienisointi. Termistä kuivausta käytetään usein muiden käsittelymenetelmien esikäsitteilynä parantamaan prosessien toimintaa, lietteen käsiteltävyyttä ja jatkokäsittelyn energiatehokkuutta. Puhdistamolietteiden laatu vaihtelee puhdistamokohtaisesti puhdistusprosessista riippuen, ja lietteen kosteus- ja tuhkapitoisuudet vaikuttavat muun muassa niiden lämpöarvoon: mitä pienempi kosteus- ja tuhkapitoisuus, sitä suurempi on lietteen lämpöarvo. Lietteelle tavoiteltu kuiva-ainepitoisuus riippuu lietteen käyttötarkoituksesta ja mahdollisesta jatkokäsittelystä. Hygienian, varastoinnin ja homehtumisen estämisen kannalta sopiva kuiva-ainepitoisuus lietteelle on 85–90 prosenttia (TS). Lietteen käsittelyn energiatalouden kannalta on tärkeää, että käsiteltävä liete on kuivattu mekaanisesti mahdollisimman kuivaksi ennen termistä jatkokäsittelyä.

Ennen termistä kuivausta liete voidaan kuivata mekaanisesti esimerkiksi imusuodatuksella, suotonauhapuristimella, linkokuivauksella tai ruuvipuristimella.

Terminen kuivaus vaatii lämpöenergiaa, ja lämmön lisäksi tekniikasta riippuen myös prosessilaitteistot kuluttavat energiaa. Suuren energiatarpeen vuoksi termisen kuivauksen taloudellinen käyttö vaatii saatavilla olevan edullisen energianlähteen, kuten teollisuuden, ylijäämlämmön. Termisten prosessien käyttökustannukset riippuvat muun muassa tulevan ja kuivatun lietteen kuiva-ainepitoisuuksista, saatavilla olevan energian hinnasta, tarvittavasta poistokaasujen käsittelystä ja laitoksen mittakaavasta.

Lisäksi puhdistamolietteen terminen käsittely kustannustehokkaasti vaatii suurehkon laitoskokuuokan. Keski- ja Etelä-Euroopan kaupunkikeskittymiin ja väkilukuun verrattuna Suomessa tapahtuva lietteen muodostuminen on maantieteellisesti hyvin hajallaan ja syntyvät määrät maltillisia, joten haasteena on kustannustehokkuudeltaan kannattavien käsittelylaitosten sijoittelu.

KÄSITTELYMENETELMÄLLÄ VAIKUTUSTA LOPPUTUOTTEeseen

Lietteen käsittelyprosessilla on oleellinen vaikutus lopputuotteen laatuun ja siten sen hyödynnettävyyteen. Uusien lietteenkäsittelytekniikoiden avulla on voitava tuottaa tuotteita, joiden avulla ravinteet saadaan tehokkaasti kiertoon. Termisesti kuivattu liete voidaan jatkokäsitellä esimerkiksi rakeistamalla, sitä voidaan käyttää sellaisenaan maanparannusaineena tai se voidaan johtaa polttoon tai muihin termisiin käsittelyihin. Lietteenpolton heikon energiatalouden ja ravinteiden hyödynnettävyyden kannalta lietteen poltto ei kuitenkaan ole ensisijainen käsittelyvaihtoehto. Myöskään pelkkä lietteen terminen kuivaus ei ratkaise sitä ongelmaa, että puhdistamoliete sisältää muun muassa haitta-aineita ja mikro-
muovia, jotka vaikuttavat lietteen turvalliseen kierrätettävyyteen. Yhtenä potentiaalisena lietteenkäsittelytekniikkana pidetään lietteen pyrolysointia, joka voisi mahdollistaa lietteen sisältämän hiilen ja fosforin kierrätyksen ilman orgaanisten haitta-aineiden, lääkeaineiden ja muovien päätymistä kiertoon.

Puhdistamolietteen käsittelymenetelmiä tarkasteltaessa tulee ottaa huomioon useita lopputulokseen vaikuttavia tekijöitä. On selvää, että lietteen ravinnepotentiaali tulee hyödyntää parhaalla mahdollisella tavalla, mutta samalla tulee myös varmistaa haitta-aineiden leviämisen estäminen ja käytettävän menetelmän teknistaloudellisuus.

JÄTTIPUTKEN HAIHTUVIEN ÖLJYJEN ANALYSOINTI

Marjatta Lehesvaara & Sari Seppäläinen

Jättiputket kuuluvat vieraslajikasveihin, jotka ovat ihmisen myötävaikutuksella levinneet laajastikin luontaisten esiintymisalueittensa ulkopuolelle. Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulun (Xamk) ja Luonnonvarakeskuksen (LUKE) toteuttamassa PURE-hankkeessa (Prevention and utilization of Invasive Alien Species – PURE) analysoitiin kaukaasianjättiputkesta (*Heracleum mantegazzianum*) tislamalla eristettyjä haihtuvia öljyjä. PURE-hankkeen toteutusajankohta on 1.1.2021–30.11.2022, ja sitä rahoittaa CBC 2014–2020 -ohjelma. Ohjelma on EU-osarahoitteinen.

JOHDANTO

Suomessa yleisimmät jättiputkilajit ovat kaukaasianjättiputki (*Heracleum mantegazzianum*), armenianjättiputki (*Heracleum sosnowskyi*) ja persianjättiputki (*Heracleum persicum*). Ne on säädetty haitallisiksi vieraslajeiksi koko EU:n alueella. Niitä ei saa päästää ympäristöön eikä tuoda EU:n alueelle. Niitä ei myöskään saa kasvattaa, välittää eikä myydä (<https://vieraslajit-dev.laji.fi/lajit/MX.41695>).

Kemiallisten yhdisteiden eristämiseksi kasveista on käytössä pääasiassa kaksi menetelmää: uutto ja tislaukset. Perinteisessä uutossa yhdisteet eristetään kasvista liuottamalla niitä sopivaan liuottimeen (esim. kuuma vesi, etanoli). Ylikriittisessä uutossa käytetään ylikriittisessä tilassa olevaa hiilidioksidia. Jälkimmäinen menetelmä on lämpöherkille aineille edullisempi kuin perinteinen uutto, eikä siinä myöskään jää tuotteeseen liuotinjäämiä hiilidioksidin haihtuessa pois. Haihtuvia öljyjä erotetaan kasveista tislamalla niitä veden mukana. Vesi-öljyseos jäädytetään, ja öljyt jäävät vettä kevyempinä ja veteen liukenemattomina veden pinnalle, josta ne voidaan ottaa talteen (Galambosi 1995, 110). Tislauksella ja uutolla saadut tuotteet eroavat koostumukseltaan toisistaan, ja uutomenetelmässä liuottimeen laadulla on merkitystä uutteen laadun kannalta.

Haihtuvien öljyjen sisältämät aromiaineet ovat niin sanottuja kasvien sekundääriyhdisteitä, joita syntyy kasvien primääriaineenvaihdunnan tuotteiden (mm. sokerit, proteiinit) lisäksi. Aineet syntyvät monimutkaisten prosessien myötä, ja kasvin haihtuva öljy voi sisältää kymmeniä erillisiä erilaisia kemiallisia yhdisteitä. Öljyn koostumus pääkomponenttien osalta on kullekin kasvilajille tyypillinen, mutta kuitenkin kasvin sisältämän öljyn määrään ja sen laatuun vaikuttaa suuresti muun muassa kasvukausien välinen vaihtelu. Lämpötila-, valo- ja

sadeolosuhteet voivat vaihdella suuresti vuosittain ja myös maantieteellisesti. Saman kasvin eri lajikkeiden ja kantojen öljypitoisuuksissa ja öljyn koostumuksessa voi olla eroja. Myös kasvin kehityksen eli korjuun vaihe suhteessa kasvin kukintaan vaikuttaa öljyn määrään ja laatuun. (Galambosi & Roitto 2006, 14)

Tässä hankkeessa jättiputkesta tislattiin haihtuvia eli eeterisiä öljyjä erikseen kasvin eri osista: kukinnoista, lehdistä, varsista ja juurista. Kasveja kerättiin ja öljyjä eristettiin kesällä 2021 ja 2022. Saadut öljyt analysoitiin GC/MS-laitteella (kaasukromatografi-massaspektrometri) ja öljyjen sisältämiä komponentteja tunnistettiin kirjallisuudesta saatujen tietojen, massaspektrien ja puhdasaineitten avulla.

NÄYTTEIDEN ESIKÄSITTELY

Tuoret kasvit kerättiin kesäkuun 2021 lopulla Mikkelin Otavasta ja kesäkuun 2022 lopulla Mikkelin Tupalasta. Kasvit kuljetettiin muovisäkkeihin pakattuna Xamkin ympäristölaboratorioon. Kasveista leikattiin kukinnot, lehdet, varret ja juuret erilleen, juuret pestiin vedellä ja niiden annettiin kuivua ilmassa (kuva 1).



KUVA 1. Jättiputken juuret (kuva Marjatta Lehesvaara).

Kasvinosat pilkottiin vielä pienemmiksi paloiksi ja haihtuvan öljyn eristystä varten niitä punnittiin 150 grammaa tislaukcolviin, johon lisättiin kaksi litraa ionivaihdetta vettä. Kukin kasvinosa käsiteltiin erikseen.

TISLAUSMENETELMÄ

Haihtuvat öljyt eristettiin vesitislauksella kahtena rinnakkaismäärityksenä. Tislauksessa käytettiin standardin ISO-6571 mukaista tisluslaitteistoa. Vesitislauksessa kasvimateriaali kuumennetaan vedessä kiehuvaan ja muodostuva höyry johdetaan jäähdyttimeen, jossa eeterinen öljy ja vesi tiivistyvät nesteeksi.

Kasvimateriaalin ja veden sisältämä kolvi liitettiin tisluslaitteeseen ja sitä kuumennettiin sähköhauteella siten, että vesi kiehui. Vesihöyry ja sen mukana haihtuva öljy kulkeutuivat jäähdyttäjään, jossa tapahtui tiivistyminen takaisin nesteeksi. Jäähdyttäjän alaosan jatkeena tisluslaitteessa on mitta-asteikollinen keräysosa, johon vesi ja haihtuva öljy kerääntyvät. Öljy jäi veteen liukenemattomana ja vettä kevyempänä veden pinnalle, ja vesi kiersi kolmitiehanan kautta takaisin tisluskolviin. Tislausaika oli neljä tuntia. Tislauksen päätyttyä öljyn määrä luettiin mitta-asteikolta 0,01 ml:n tarkkuudella. Kustakin kasvinosasta tehtiin kaksi rinnakkaistislausta.

HAIHTUVIEN ÖLJYJEN KOOSTUMUKSEN ANALYSOINTI

Kunkin kasvinosan rinnakkaisnäytteistä eristetyt öljyt yhdistettiin yhdeksi näytteeksi ja GC/MS-analyysiä varten öljyä laimennettiin etyyliasetaatilla (5 µl / 1000 µl). Haihtuvien öljyjen koostumus määritettiin kaasukromatografi-massaspektrometrilaitteistolla (Agilent GC 7890 A/MS 5975 D). GC-kolonnina käytettiin ZB-5MSi-kolonnia (pituus 30 m, sisähalkaisija 250 µm, faasin paksuus 0,25 µm). Kolonnin faasimateriaali oli 95 % -dimeytyli- 5 %-difenyylipolysiloksaania. Kaasukromatografian lämpötilaohjelma oli seuraava: alkulämpötila 60 °C, jossa kaksi minuuttia, lämpötilan nosto 7 °C/min 320 °C:seen, jossa yksi minuutti. Ajoaika 40 minuuttia.

GC/MS-analyysissä yhdisteiden tunnistaminen perustuu niiden retentioaika- ja massaspektritietoihin. Yhdisteen retentioaika tarkoittaa kromatografiassa sitä ajanhetkeä injektointihetkestä laskettuna, jolloin yhdiste saapuu detektorille. Analyysiolosuhteiden pysyessä vakiona sekä yhdisteiden retentiojärjestys että massaspektrit pysyvät muuttumattomina.

Xamkin aikaisemmissa haihtuvan öljyn analysointiin liittyvissä hankkeissa hankittu tieto ja kokemus olivat pohjana yhdisteiden analysoinnissa. Yhdisteitä tunnistettiin vertaamalla yhdisteiden retentioaikatietoja kirjallisuudesta kerättyihin tietoihin (Friuzi ym. 2010) ja ajettuja massaspektrejä GC/MS-laitteen massaspektrikirjaston (Nist11) spektreihin. Osa yhdisteistä pystyttiin varmistamaan puhtasainoiden avulla.

TULOKSET

Kesän 2021 tislauksessa haihtuvaa öljyä saatiin eniten talteen kukinnoista, kun taas kesällä 2022 eniten öljyä tislattiin juurista. Varresta eristetyn öljyn määrää ei pystytty mittaamaan, koska öljy jäähmettyi tisluslaitteiston jäähdytysosan seinämille, josta sitä otettiin analyysiä varten talteen liuottimen (etyyliasetatiin) avulla. Taulukossa 1 on esitetty kunkin kasvinosan kahden rinnakkaisnäytteen keskiarvot.

TAULUKKO 1. Haihtuvan öljyn määrät (μl) vuosina 2021–2022

| Kasvinosa | Tislatun öljyn määrä, μl (2021) | Tislatun öljyn määrä, μl (2022) |
|-----------|---|---|
| Lehti | 65 | 90 |
| Varsi | ei mitattavissa | ei mitattavissa |
| Juuri | 100 | 275 |
| Kukinto | 130 | 90 |

Eri kasvinosien öljyjen koostumukset poikkesivat toisistaan lähinnä pääkomponenttien osalta, ja myös eri vuosina eristetyissä öljyissä oli eroja (taulukot 2 ja 3).

TAULUKKO 2. Jättiputken haihtuvien öljyjen pääkomponentteja v. 2021

| Yhdiste | Juuri (A%)* | Kukinto (A%)* | Lehti (A%)* | Varsi (A%)* |
|---------------------------------|----------------|------------------|----------------|----------------|
| β -Tujeeni | 21,01 | | | |
| β -Myrseeni | | 3,50 | | 0,26 |
| α -Terpineeni | 2,6 | | | |
| o-Symeeni | 3,1 | 3,0 | | |
| D-Limoneeni | 8,89 | | | 4,69 |
| cis-Okimeeni | 10,66 | 12,75 | 4,93 | 5,04 |
| trans-Okimeeni | 2,51 | 2,52 | 1,57 | 1,96 |
| γ -Terpineeni | 4,43 | 22,31 | | 0,15 |
| Terpinoleeni | 19,60 | | | 0,36 |
| Terpinen-4-oli | 10,05 | | | 0,17 |
| Karyofylleeni | 11,63 | 8,35 | 11,63 | 0,73 |
| Germagreeni-D | 26,71 | 4,18 | 26,71 | 1,23 |
| 2-Fenoksietyylifenyylietteri | | | 9,19 | |
| Heksadekaanihappo | | | | 4,55 |
| γ -Palmitolaktoni | 1,59 | 10,93 | 14,32 | 69,13 |
| 9,12-Oktadekedieeni-happo (Z,Z) | | | | 4,32 |

*(A %) yhdisteen piikin pinta-ala (A) prosentteina koko kromatogrammin pinta-alasta

TAULUKKO 3. Jättiputken haihtuvien öljyjen pääkomponentteja v. 2022

| Yhdiste | Juuri (A%)* | Kukinto (A%)* | Lehti (A%)* | Varsi (A%)* |
|--------------------------------|-------------|---------------|-------------|-------------|
| β-Pineeni | 2,08 | | | |
| β-Myrseeni | 1,51 | 6,70 | | 0,26 |
| α-Terpineeni | 0,47 | | | |
| o-Symeeni | 54,90 | 6,74 | 5,26 | 6,41 |
| D-Limoneeni | 3,62 | | | |
| cis-Okimeeni | 2,84 | 12,84 | 8,55 | 3,42 |
| trans-Okimeeni | 1,14 | 3,52 | 3,8 | |
| γ-Terpineeni | 8,99 | 22,15 | | 12,11 |
| Terpinoleeni | 20,04 | | | |
| Terpinen-4-oli | 0,41 | | | |
| Karyofylleeni | 11,63 | 2,93 | 14,9 | 1,51 |
| Germagreeni-D | | 2,16 | 26,79 | 1,23 |
| β-Selineeni | | 15,55 | | |
| 2-Fenoksietyylifenyylieetteri | | | | |
| Heksadekaanihappo | | | | 4,55 |
| γ-Palmitolaktoni | 0,49 | 13,66 | 25,01 | 72,08 |
| 9,12-Oktadekedieenihappo (Z,Z) | | | | 3,21 |

*(A %) yhdisteen piikin pinta-ala (A) prosentteina koko kromatogrammin pinta-alasta

Pääkomponenttien lisäksi kukinnoista tislattut öljyt sisälsivät useita karboksyylihappojen estereitä, mikä on yhdenmukainen tulos puolalaistutkimuksessa saadun tuloksen kanssa (Jabuska-Busse ym. 2013, 877). Karboksyylihappojen esterit vaikuttavat suuresti kasvien ja niiden kukintojen tyypilliseen tuoksuun.

γ-Palmitolaktonia, karyofylleeniä ja cis-okimeenia esiintyi kaikissa tislatuissa öljyissä kumpanakin vuonna. Kesän 2022 öljyistä löytyi huomattavasti suurempia määriä o-symeeniä kuin kesän 2021 öljyistä. Vuonna 2022 tislattusta juuriöljystä yli 50 prosenttia oli o-symeeniä, kun sitä vuoden 2021 vastaavassa öljyissä oli noin kolme prosenttia.

JOHTOPÄÄTÖKSET

Tähän tutkimukseen kerättyjen kasvien kasvupaikat olivat noin 20 kilometrin etäisyydellä toisistaan. Ilmatieteen laitoksen tilastojen mukaan (ilmatieteenlaitos.fi) kesäkuun keskilämpötila Mikkelin alueella vuonna 2021 oli 19,0 °C, kun se vuonna 2022 oli 16,0 °C. Sademäärä puolestaan vuonna 2021 oli 42,9 mm ja vuonna 2022 70,3 mm. Kesällä 2022 kerättyjen kasvien kukinta oli myöhässä verrattuna kesän 2021 kukintaan. Mahdolliset erot tislaukseen otettujen kasvikantojen välillä eivät ole tiedossa, mutta erilaiset kasvupaikat ja sääolosuhteet ovat vaikuttaneet eri vuosina tislattujen haihtuvien koostumuksessa havaittuihin eroihin.

LÄHTEET

EU:ssa haitalliseksi säädetty vieraslaji (EU:n vieraslajiluettelo) (EU 2016/1141; 2017/1263; 2019/1262).

Friuzi, O., Asadollahi, M., Gholami, M. & Javidnia, K. 2010. *Composition and biological activities of essential oils from four Heracleum species*. Food Chemistry. 122. 117.

Galambosi, B. 1995. *Mauste- ja rohdoskasvien luonnonmukainen viljely 111*. Painatuskeskus Oy, Helsinki.

Galambosi, B. & Roitto M. 2006. *Pohjoisessa kasvatettujen yrttien aromisuus*. Maa- ja elintarviketalous 84. Tampereen yliopistopaino Oy, Helsinki.

Haitallinen vieraslaji (Kansallinen luettelo) (VN 1725/2015).

ISO 6571 2017. Spices, condiments and herbs. Determination of volatile oil content (hydrodistillation method). <https://www.ilmatieteenlaitos.fi/tilastoja-vuodesta-1961> [viitattu 19.9.2022]

Jakubska-Busse, A., Śliwiński, M. & Kobyłka, M. 2013. *Identification of bioactive components of essential oils in Heracleum sosnowskyi and Heracleum mantegaazzianum (Apiaceae)* Arch. Biol. Sci., Belgrade, 65. 877–883.

OPPIMISKOKEILU – VIRTAVESI-KUNNOSTUKSET SIRKKAPUROLLA

Juho Rajala

Rokkalanjoen valuma-alueella sijaitseva 7-niminen joki laskee Saimaaseen Mikkelin satamassa. Sirkkapuro on yksi joen sivuhaaroista. Se alkaa Särkijärvestä ja liittyy 7-nimiseen jokeen Hanhijoen kohdalla. Vaelluskalojen vapaa kulku Saimaasta Sirkkapuroon on toistaiseksi estynyt, mutta kahden nousuesteen purkulupa odottaa Itä-Suomen aluehallintoviraston päätöstä. Päätöksen ollessa myönteinen Sirkkapuro on yksi alueen potentiaalisimmista uhanalaisen järvitaimenen lisääntymispaikoista. Ympäristötekniikan toisen vuoden opiskelijat pääsivät opintojaksolla ”Ympäristöseurannan perusteet” tutustumaan purokunnostuksiin Metsähallituksen Eetu Karhusen johdolla. Purokunnostustalkoot mahdollisti Saimaan Lohikalajien Ystävät ry, jonka puheenjohtaja Esa Pekka Huupponen oli johtamassa kunnostustalkoita.

PUROKUNNOSTUSTEN TAUSTA LYHYESTI

Sirkkapuro kuuluu Rokkalanjoen valuma-alueella sijaitsevaan 7-nimiseen jokeen. Joki laskee Saimaaseen Mikkelin satamassa. Vaelluskalojen kulku Saimaasta Sirkkapuroolle on estynyt Hauskan myllypadon ja Ryöpyr padon kohdalta. Itä-Suomen aluehallintovirastolla on käsitteilyssä Mikkelin kaupungin hakemus patojen poistamiseksi, jolloin myös uhanalaisen järvitaimenen pääsy lisääntymispaikoilleen Sirkkapuroolle mahdollistuisi (ISAVI/3315/2021).

Vaellusesteiden poiston lisäksi on järvitaimenen lisääntymisaluetta kunnostettava. Jokialueet on aikoinaan perattu metsätalouden tarkoituksia varten eli uomasta on poistettu suurikokoinen kiviaines ja uoman kulkua on suoritettu tukinuittoa ajatellen. Samalla uomasta ovat tuhoutuneet luonnolliset lisääntymispaikat eli niin kutsutut kutusoraikot. Lisäksi kivien ja lohkareiden poisto on tuhonnut taimenenpoikasten elinympäristön ja altistanut rantapenkereet voimakkaalle eroosiolle.

Oppimiskokeilun aikana opiskelijaryhmä rakensi Sirkkapuroolle kutusoraikkoja sekä muokasi virtaa tuomalla siihen suurikokoista kiviainesta. Kiviä ja lohkareita kasattiin myös rantapenkereisiin eroosiosuojiksi.

OPPIMISKOKEILUN TAUSTA

Oppimiskokeilu toteutettiin toisen vuoden ympäristötekniikan opiskelijoille ”Ympäristön seuranta” -opintojaksolla ”Biodiversiteetti”-osion alla. Oppimiskokeilun tarkoituksena oli opiskella uhanalaisten lajien elinympäristöjen suojelua käytännön toimenpiteiden avulla. Kurssi alkoi suoraan kenttätöskentelyllä, eikä pohjatietoja aiheesta juuri tarjottu verkossa ollutta lisämateriaalia lukuun ottamatta.

Virtavesikunnostuksia johti Metsähallituksen erikoissuunnittelija Eetu Karhunen yhdessä Saimaan lohikalojen ystävät ry:n Esa Pekka Huupposen kanssa. Oppimiskokeilu toteutettiin osana kolmen päivän purokunnostustalkoita, joten se ei kuormittanut asiantuntijoita erikseen. Kokeilun lähtökohtana oli kollektiivinen hyötynäkökulma, sillä opiskelijat pääsivät oppimaan työelämälähtöisesti ja purokunnostajat saivat suuren määrän työvoimaa. Lisäksi oppimiskokeilu nähtiin hyödylliseksi ryhmäytymistoiminnaksi koronapandemian etäopetuksesta kärsineelle opiskelijaryhmälle.

KUTUSORAIKON RAKENNUS

Kutusoraikkoja rakennettiin virtaamaltaan soveltuviin paikkoihin puroa, joissa vesipatsaan korkeus oli vähintään 15–20 cm. Virtaaman tulee kohdassa olla tarpeeksi nopeaa, jotta hienoaines ei pääse laskeutumaan ja tukkimaan kutusoran väliin jäävää tilaa. Tällöin hiedelmöityneet mätimunat pääsevät kehittymään hapellisissa olosuhteissa eivätkä haudaudu hienoaineen joukkoon. Virtaamaltaan liian suuri kohta taas vie sora-aineen mennessään, viimeistään keväällä puron tulviessa.

Sopivan paikan löydyttyä poistettiin puron pohjaan kertynyt hienoaines ja liian suurikokoiset kivet lapiolla. Samalla syvennettiin jokiuomaa, jolloin uutta sora-ainesta mahtui joen pohjaan enemmän (kuva 1).



KUVA 1. Jokipohjan muokkausta lapiolla (kuva Juho Rajala).

Soraikoissa käytetty kiviaines oli kooltaan vaihtelevaa, halkaisijaltaan noin 20–80 mm:n kokoista, särmätöntä kiviainesta. Sora kuljetettiin sinkkiämpäreissä vaikeapääsyiseen paikkaan jokivarressa (kuva 2). Lähempänä polkuja oleviin kohteisiin soraa ajettiin koneellisesti ja sitä kuljetettiin ahkioissa jokiin valmiiksi paikkoihin. Sorapatjan paksuudeksi pyrittiin saamaan noin 20 cm. Soraikon pinta-ala riippui paljon puron kohdasta ja oli keskimäärin muutaman neliömetrin luokkaa. Soran päälle pyrittiin jättämään vettä noin 15–20 cm, jotta se säilyisi veden alla, vaikka puron pinta hieman laskisi.



KUVA 2. Kutusoraikon rakennusta (kuva Juho Rajala).

Kutusoraikon eteen virran ohjureiksi vieritettiin kaksi isompaa lohkaretta (kuva 3). Lohkareiden tarkoituksena on kuristaa virtaa ja siten kasvattaa virtausnopeutta. Nopea virtaus estää hienoaineen laskeutumisen soraikon päälle ja siten estää sen tukkeutumista. Suuret lohkareet myös tukevat soraikkoa, jolloin se ei tulva-aikaankaan lähde virran mukana liikkeelle. Vesipinta lohkareiden takana myös hieman nousee. Tällä pyritään osaltaan varmistamaan, ettei kutusoraikko jäisi vähävetisenäkään syksynä kuiville.



KUVA 3. Virtaa ohjaavat lohkaareet kutusoraikon edessä (kuva Juho Rajala).

EROOSIOSUOJIEN RAKENNUS

Kutusoraikkojen lisäksi opiskelijat tekivät muokkaustöitä myös virran penkereissä. Yksi Sirkkapuron suurimmista ongelmista on hienoaines, jota irtoaa jokipenkereistä virran mukana. Puro kulkee läpi harjumaastossa, joka tekee ympäristöstä erittäin eroosioherkän. Kevättulvat kuluttavat purouoman ulkomutkia irrottaen mukaansa hienoa hiekkaa. Hiekka kasautuu puron hitaampivirtaisiin sisämutkiin. Samalla hienoainesta sedimentoituu helposti myös esimerkiksi kutusoraikkoihin, jotka tukkiutuvat käyttökelttomiksi. Penkereiden eroosio saa joen mutkittelemaan ja on täysin luonnollinen tapahtuma. Vanhat jokiuoman muokkaustoimet ovat kuitenkin paljastaneet penkereet, kun suurikokoinen kiviaines on poistettu virrasta. Penkereihin rakennettiin suurikokoisesta kiviaineesta suojavalleja, jotka vähentävät virran vaikutusta. Lisäksi erodoituva hienoaines pidättyy helposti suurikokoisten kivien väleihin eikä siten kulkeudu virran mukana.



KUVA 4. Erosiosuojausta (kuva Juho Rajala).

YHTEENVETO

Opiskelijaryhmä sai iltapäivän aikana kunnostettua noin 50 metrin osuuden puroa (kuva 5). Tälle pätkälle rakennettiin kolme kutusoraikkaa. Lisäksi virtaa ohjattiin isokokoisemmilla kivillä ja rannan penkereitä suojattiin eroosiolta. Kunnostustoimien hyödyt uhanalaiselle taimenelle ovat tulevaisuudessa merkittävät. Päivän oppimistavoitteet biodiversiteetin seurannasta ja uhanalaisten lajien sekä elinympäristöjen suojelusta saavutettiin käytännön työskentelyn ohessa. Lisäksi opiskelijat saivat luotua tärkeitä työelämäyhteyksiä. Kokemukset oppimiskokeilusta olivat kaikin puolin positiiviset. Kaikki kokeiluun osallistuneet tahot kokivat hyötyvänsä yhteistyöstä. Vastaavia käytännön projekteja tulisi integroida opetukseen useammin.



KUVA 5. Sirkkapuro ennen ja jälkeen kunnostuksen (kuva Eetu Karhunen).

LÄHTEET

ISAVI/3315/2021. Kalateiden rakentaminen Rokkalanjoen patojen yhteyteen, joen ruoppaus ja vanhojen vesitalouslupien rauettaminen, Mikkeli. Saatavissa: <http://ylupa.avi.fi/fi-FI/asia/1988463> [viitattu 19.9.2022]

TKI-TOIMINNAN JA OPETUKSEN INTEGROINTI – OPISKELIJAT AKTIIVISESTI MUKANA KUITU- LABORATORION TOIMINNASSA

Juha-Pekka Ontronen & Terhi Ropponen

Merkittäviä TKI-hankkeita, maailmanluokan asiantuntijat, biotuotetekniikan ja teollisen puurakentamisen insinööriopiskelutukset ja sijainti kauniissa maisemassa Saimaan rannalla. Näistä ja lukemattoman monesta muusta asiasta koostuu arki Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulun (Xamk) tutkimusyksikössä, Kuitulaboratoriossa.

Savonlinnassa insinööriopiskelijoilla on todellinen mahdollisuus saada käytännön työkokemusta tehdasympäristössä tai työstää esimerkiksi insinööriä toimeksiantona. Yhteistyössä yritysten kanssa tehdään projekteja, tutkimusta ja tuotekehitystä. Osana yhteistyötä yritykset tarjoavat opiskelijoille harjoittelupaikkoja ja aiheita opinnäytetöihin. Maailmanluokan yrityksillä on kuitenkin vaikeuksia löytää maailmanluokan työvoimaa, eli pulaa osaavista henkilöistä on.

Tässä artikkelissa keskitytään koulutuksen ja Xamk Kuitulaboratorion yhteistyöhön, tutkimusta ja työelämää edistävään innovaatiokeskittymään sekä alueella vallitsevaan positiiviseen synergiaan.

JOHDANTO

Savonlinna yleisesti tunnetaan matkailusta ja kulttuurista, mutta ennen kaikkea Savonlinna pitäisi tuntea sen merkittävästä vientiteollisuudesta ja teknologiasta muun muassa sellu- ja paperiteollisuuteen. Savonlinnalaisista teknologiaa on toimitettu esimerkiksi Äänekosken biotuotetehtaaseen ja piippujen juurille ympäri maailman (Pentikäinen 2022, 30). Merkittävässä roolissa tässä on Kuitulaboratorio, joka aloitti toimintansa vuonna 2005 Savonlinnassa Lappeenrannan teknillisen yliopiston paperiteknologian alueyksikkönä. Kuitulaboratoriossa toimi alusta lähtien myös Mikkelin ammattikorkeakoulun (Mamk) sellu- ja ympäristötekniikan tutkimusryhmä. Monien vaiheiden kautta Kuitulaboratorio siirtyi kokonaisuudessaan Mamkille vuonna 2011. Vuonna 2017 Mikkelin ja Kymenlaakson ammattikorkeakoulut yhdistyivät Kaakkois-Suomen ammattikorkeakouluksi (Xamk), jolloin Kuitulaboratoriosta tuli Xamkin tutkimusyksikkö Metsä, ympäristö ja energia -vahvuusalalle. (Xamk 2022a)

Kuitulaboratoriossa panostetaan muun muassa metsäbiomassan sekä puu- ja kierrätyskuitujen käsittelyn prosesseihin ja jatkojalostamiseen uusiksi tuotteiksi. Koko toimintansa ajan Kuitulaboratorio on tarjonnut testaus- ja analyysipalveluita metsäteollisuudelle ja alan laite- ja kemikaalitoimittajille sekä teknologiakehittäjille. Palveluihin kuuluvat myös vesi- ja lietetutkimus. Kuitulaboratorion ydin on tehdasmittakaavan koeajohalli, jossa voidaan tehdä pilotointeja esimerkiksi biomassojen valmistuksessa, jatkotutkimuksissa ja sekoituksissa. Patentit ja väitöstutkimukset ovat osoitus korkean tason kansainvälisestä osaamisesta. Lisäksi tärkeä osa toimintaa on insinöörien koulutus, jolla tuotetaan osaavaa työvoimaa alalle.

Tutkimus-, kehittämis- ja innovaatiotoiminnalla (TKI) tarkoitetaan luovaa ja systemaattista toimintaa, joka tavoittelee uutta tietoa ja uusia tuloksia. Tunnusomaista on kuitenkin epävarmuus onnistumisen, tulosten ja resurssien suhteen. (Tilastokeskus 2022) Xamkin TKI-toiminta tähtää erityisesti Etelä-Savon ja Kymenlaakson elinvoiman vahvistamiseen. Vuositasolla hankkeita on käynnissä lähes 300. Hankkeiden tarkoituksena on palvella yrittäjyyttä, elinvoimaa ja yhteiskuntaa paikallisesti, valtakunnallisesti ja kansainvälisesti. (Xamk 2022b) Xamk Kuitulaboratoriossa tehdään maailmantason tutkimusta lukuisten TKI-hankkeiden kautta vuosittain edistään kestävää kehitystä, resurssien järkevää käyttöä ja vientiteollisuutta.

MAAILMAN SEURAAVA PIILAAKSO

Kalifornian Piilaakson lisäksi maailmassa on toinenkin korkean teknologian innovaatiokeskittymä. Kun ajatellaan biotuote- ja kuitutekniikkaa, jäteveden puhdistusta, ympäristöturvallisuutta, puun jalostusta, elektroniikkaa ja biomateriaalien 3D-tulostamista, ei ensimmäiseksi tule välttämättä ajatelleeksi, että sellainen löytyy keskeltä idyllisintä Järvi-Suomea.

Mielleyhtymä Piilaaksosta ei ole kaukaa haettu, sillä Saimaan rannalta Savonlinnasta löytyy teknologiapuisto Noheva, joka tuo yhteen huipputeknologian, tutkimuksen, opetuksen ja alan johtavat yritykset valtavalla potentiaalilla tuotekehitykseen. Noheva yhdistää puhtaan luonnon, puhtaan veden, tutkimuksen, koulutuksen, yritykset ja innovoinnin vertaansa vailla olevaksi metsä- ja teknologiateollisuuden innovaatiokeskittymäksi ja testausympäristöksi (kuva 1). Savonlinnassa on yksi Suomen suurimmista mekaanisen metsäteollisuuden keskittymistä, joka jatkaa kasvuaan.



KUVA 1. Xamk Kuitulaboratorio ja teknologiapuisto Noheva Savonlinnassa (kuva Juha-Pekka Ontronen).

Nohevan keskiössä toimivan Xamk Kuitulaboratorion vetovoimaisuus näkyy tänä päivänä selvästi. Aiemmin metsän ympäröimän tutkimusyksikön ympärille on rakentunut teknologiapuisto, jossa yritykset ja opiskelijat toimivat synergiassa. Teknologiapuiston laajentuminen jatkuu edelleen muun muassa alueelle nousevan teollisen puurakentamisen tutkimus- ja koestuslaboratorion myötä.

TKI:N, KOULUTUKSEN JA TYÖELÄMÄN INTEGROINTI

Yritysten, Kuitulaboratorion ja opiskelijoiden synergia näkyy hyvin esimerkiksi opiskelijoiden työelämälähtöisissä projekteissa sekä opinnäytetöissä, jotka ovat merkittävässä roolissa insinöörikoulutuksen ja työelämän yhdistämisessä. Kuitulaboratoriolla toteutetaan vuosittain useita lyhyitä ja pitkäkestoisempia tutkimuksia yhteistyössä biotuotetekniikan opiskelijoiden kanssa. Opiskelija perehdytetään työn aiheeseen ja käytettäviin laitteisiin ja menetelmiin, minkä jälkeen opiskelija vie työn loppuun enemmän tai vähemmän itsenäisesti. Vaativammassa töissä ja opiskelijan lähtötasosta riippuen opastusta voidaan jatkaa tiiviisti koko työn ajan.

Aiheet opiskelijatöihin saadaan Kuitulaboratorion kumppaniyrityksiltä, suoraan Kuitulaboratoriolta tai biotuotetekniikan opetuksen puolelta. Projektit ja opinnäytetyöt voivat olla hyvinkin erilaisia sisältäen esimerkiksi selvitystyötä, automaatio suunnittelua, laboratorioanalyysien tekemistä, mallinnusta tai käytännön laite- ja prosessisuunnittelua asennustöineen. Työ voi olla myös täysin uusien menetelmien kehittämistä, jolloin opiskelijan tiedonhaku- ja soveltamistaidot korostuvat työn suorittamisessa. Toimiva yhteistyö Kuitulaboratorion ja

koulutuksen välillä mahdollistaa opiskelijatöiden kohdentamisen kyseiseen työhön parhaiten soveltuvalla opiskelijalla niin, että työssä on juuri sopivasti haastetta.

Ammattikorkeakoulujen opinnäytetyöt tutkimustuloksineen ovat pääasiassa julkisia, mutta Kuitulaboratoriolla toteutetaan myös sellaisia asiakaslähtöisiä toimeksiantoja, joiden kohdalla työn kokonaan tai osittain salaaminen on perusteltua. Tällaisten tutkimusten tekeminen on opiskelijoille erityisen antoisaa ja opettavaista. Parhaassa tapauksessa opinnäytetyön seurauksena on työsuhde joko Kuitulaboratioon tai asiakasyritykseen. Opinnäytetyö liittyy usein jonkin asiakasyrityksen tekemään laajempaan tutkimukseen tai johonkin Kuitulaboration hankkeeseen. Samasta aihepiiristä voikin löytyä usealle perättäiselle opinnäytetyön tekijälle uutta tutkittavaa ja työmahdollisuuksia.

TKI-toimintaan liittyy laajasti erilaisia käytännön työvaiheita, joiden tekijöiksi tarvitaan tutkijoiden ja tutkimusinsinöörien lisäksi myös tutkimusapulaisia (kuva 2). Biotuotetekniikan opiskelijat ovat luonnollisesti kohderyhmää, kun Kuitulaboriolle palkataan uusia kesätyöntekijöitä. Kuitulaboration joustavat työaikajärjestelyt soveltuvat hyvin opintojen ja työelämän yhdistämiseen. Moni työelämälähtöisen projektin, opinnäytetyön tai kesätyön kautta jalansijan saanut opiskelija onkin jatkanut osa-aikatyössä Kuitulaboratoriolla opintojensa ohessa. Tällainen symbioosi hyödyttää niin opiskelijaa kuin työnantajaakin, vaikka vaatiikin jonkin verran enemmän aikatauluttamista. (Tirri 2022)



KUVA 2. Xamk Kuitulaboratoriossa yhdistyvät opiskelu ja työskentely tehdasympäristössä. Kuvassa pestään massakontteja (kuva Juha-Pekka Ontronen).

Kuitulaboratorion työyhteisö on ainutlaatuisen monimuotoinen. Niin työntekijöitä kuin opiskelijoitakin on eri-ikäisiä, heillä on erilaiset taustat ja he edustavat eri kansallisuuksia. Kuitulaboratoriossa työskentelee alansa johtavat ammattilaiset tohtoreista insinööreihin, joiden lisäksi tuoretta näkökulmaa ja oman työpanoksensa antavat myös opiskelijat. Yhteistyökumppaneiden koko vaihtelee pienen mittakaavan startup-yrityksistä kansainvälisiin suuryrityksiin. Innovaatioita ajatellen tällainen lähtökohta on erityisen hedelmällinen.

Savonlinnasta valmistuneet biotuotetekniikan insinöörit ovat työllistyneet monipuolisesti alan tehtäviin. Moni on muuttanut kauempaa opiskelemaan Savonlinnaan, mutta valmistumisen jälkeen palaa takaisin kotiseudulle tai siirtyy kokonaan uudelle paikkakunnalle. Ne opiskelijat, joilla on muitakin sidoksia Savonlinnan seudulle, ovat todennäköisempiä jäämään tai palaamaan Savonlinnaan luomaan työuraa.

YHTEISTYÖ MUIDEN OPPILAITOSTEN KANSSA

Aalto-yliopiston ja Xamkin strateginen yhteistyö tarjoaa joustavan siirtymisen Aallon ja Xamkin välillä. Yhteistyön myötä Xamkiin saatiin Aalto-yliopiston kanssa yhteinen työelämäprofessori. Professori Juha Lipponen valmistelee ja markkinoi erilaisia yhteistyöhankkeita yrityksille ja luennoi innovointimenetelmistä ja TKI-projektitoiminnasta. Aalto-yliopisto tarjoaa biotuotetekniikan opiskelijoille englanninkieliseen työelämäkirjoittamiseen, materiaalitieteeseen ja polymeeritekologiaan perehdyttäviä kursseja. Osallistumalla näille kursseille opiskelija saa hyvät perustiedot kurssien aiheista sekä osoittaa motivaatiotaan jatko-opintoihin, mistä on etua maisteriohjelmiin pyrkiessä. Samalla opiskelija pääsee tutustumaan Aallon toimintatapoihin ja tietokantoihin, jolloin valmiudet hakeutua Aalto-yliopiston jatko-opintoihin paranevat. (Männynsalo 2022)

Kurssit järjestetään etäyhteyksin ja tiettyjen kurssien laboratoriotyötkin voidaan suorittaa kotoa käsin, mikäli opiskelijalla ei ole halua tai mahdollisuutta mennä tekemään niitä paikan päälle Otaniemen kemian laboratorioon. Kurssisuoritukset voi hyödyntää joko insinööritutkinnossa tai halutessaan vasta myöhemmin maisteriopinnoissa. Tekniikan jatko-opintoja tukee Aalto-yliopiston tarjoamien kurssien lisäksi myös Xamkin tarjoama valinnainen insinöörimatematiikan jatkokurssi. Kurssi valmistelee opiskelijaa maisterivaiheen vaativampaan matemaattiseen työskentelyyn, ja myös sen suoritus on osoitus opiskelijan motivaatiosta.

Xamkin ja LUT-yliopiston pitkäaikainen yhteistyö on jatkunut Kuitulaboratorion perustamisesta saakka muun muassa erilaisten hankkeiden ja diplomitöiden merkeissä. LUTin opiskelijoita on ollut Kuitulaboratoriossa töissä tai viimeistelemässä opintojaan ja vastavuoroisesti moni Kuitulaboratorion työntekijä on jatkanut opintojaan LUTissa. Tällä hetkellä LUTin kanssa on suunnitteilla muun muassa erilaisten sivujakeiden uuttotekniikkaan ja sovelluksiin liittyvää projektiyhteistyötä Just Transition Fund (JTF) -ohjelmaan liittyen.

Oulun yliopiston kanssa on meneillään Xamk Kuitulaboratorion tutkijoiden väitöskirja-tutkimuksia ja hemiselluloosaprojekti. Juuri päättyneen synteettisen metanolin tutkimus-projektin ja edellä mainittujen lisäksi rahoitusvaiheeseen edenneet, ekotehokkaaseen rikas-tusprosessiin keskittyvät rinnakkaishankkeet ylläpitävät korkeakouluysteistyön jatkumoa Kuitulaboratoriolla. (Pulkkinen 2022.)

Xamk tekee yhteistyötä myös alempien koulutusasteiden oppilaitosten kanssa. Savonlin-nalaisella Mertalan koululla on yläkoululaisille luonnontieteellis-matemaattispainotteinen linja, jonka pääsykokeella valittavat oppilaat ovat potentiaalisia tulevaisuuden insinöö-riopiskelijoita. COVID-19-pandemiasta johtuneen keskeytyksen jälkeen muun muassa molemminpuoliset vierailut, työelämäesittelyt ja TET-harjoittelujaksot Kuitulaboratoriolla ovat taas työlliställä. Myös lukioiden kanssa kehitetään aktiivisesti yhteistoimintaa, kuten kurssivierailuja ja työpajoja lukiolaisille. Insinööriopiskelijat ovat vierailleet muun muassa ammattiopisto Samiedun hitsausteknologiatapahtumassa, jossa oli myös Xamkin insinööri-koulutusten esittelypiste. Aiemmin tiheästi järjestetyt ekskursionit yrityksiin ja yritysvierailut Xamkiin hiipuivat pandemian aikana, mutta toiminta on elpymässä.

TYÖELÄMÄINTEGRAATIOTA LISÄÄVÄ OPISKELIJA-JA AMMATTIJÄRJESTÖTOIMINTA

Eräs merkittävä Xamkin insinööriopiskelijoiden verkostoitumista ja työelämäintegraatiota lisäävä asia on opiskelija- ja ammattijärjestötoiminta. Savonlinnassa toimii kaikille aloille suunnattujen opiskelijakunta Kaakon sekä Sohva ry:n lisäksi insinööriopiskelijoiden oma vuonna 2020 perustettu yhdistys, Savonlinnan Insinööriopiskelijat SAIO ry. SAIO on In-sinööriliittoon kuuluvan Insinööriopiskelijaliiton paikallisyhdistys, joka tekee yhteistyötä Xamkin, Savonlinnan Insinöörit SI ry:n ja useiden muiden alueella toimivien yritysten, yh-distysten sekä muun muassa valtakunnallisen Puunjalostusinsinöörien kanssa. Insinööriliitto ja Puunjalostusinsinöörit tarjoavat aktiivisille opiskelijoille erilaisia kokous-, koulutus- ja verkostoitumistapahtumia ympäri Suomea (kuva 3). Näissä tapahtumissa opiskelijat pääse-vät tapaamaan kokeneita alan asiantuntijoita ja vaikuttavien yritysten edustajia esimerkiksi konferenssiesityksissä, vuosijuhlissa tai innovaatiotyöpajoissa. Myös Savonlinnan Insinöörit SI ry tukee opiskelijatoimintaa ja muun muassa järjestää jäsentapahtumia, joihin myös insinööriopiskelijat ovat tervetulleita.

YHTEENVETO

Biotuotealalla riittää runsaasti mahdollisuuksia, vain ideointi on rajana. Xamk tarjoaa alasta kiinnostuneille tulevaisuuden osaajille Savonlinnassa insinöörikoulutusta ja sitä kautta yrityksille uutta osaavaa työvoimaa. Opintojen ohessa on erinomainen mahdollisuus päästä työskentelemään Kuitulaboratoriossa, alansa johtavassa tutkimusyksikössä. Insinööritutkinto avaa väylän ylempiin korkeakoulututkintoihin ja työpaikkoihin jatkuvasti kehittyvällä, tulevaisuutta muovaavalla alalla.

Laadukas, ajanmukainen ja monipuolinen insinöörikoulutus houkuttelee opiskelijoita Savonlinnaan. Valmistuttuaan osa heistä työllistyy paikkakunnalle, mutta potentiaalisia työpaikkoja olisi tarjolla enemmänkin. Yritysten tarpeiden täyttämiseksi työelämän ja koulutuksen yhteistyötä voidaan edelleen lisätä, mutta samalla Savonlinnasta olisi tehtävä houkuttelevampi ja tunnetumpi kaupunkina, johon halutaan jäädä ja sitoutua – maailman seuraava Piilaakso.

LÄHTEET

Männynsalo, J. 2022. Lehtori. Sähköpostikeskustelu 22.9.2022. Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu.

Pentikäinen, P. P. 2022. Ei linnan eikä yhden piipun varassa. Insinööri-lehti. Numero 4/2022. Insinööriliitto IL ry, Helsinki, 30–33.

Pulkkinen, L. 2022. Tutkimusjohtaja. Sähköpostikeskustelu 23.11.2022. Metsä, ympäristö ja energia -vahvuusala. Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu.

Tilastokeskus 2022. Suomen virallinen tilasto (SVT): Tutkimus- ja kehittämistoiminta. Käsitteet ja määritelmät. [Verkkoaineisto] [Viitattu 14.9.2022]. Saatavissa: <http://www.stat.fi/til/tkke/kas.html>

Tirri, T. 2022. Laboratorion johtaja. Suullinen tiedoksianto 21.9.2022. Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu.

Xamk 2022a. Kuitulaboratorio. [Verkkoaineisto] [Viitattu 14.9.2022]. Saatavissa: <https://www.xamk.fi/tutkimus-ja-kehitystoiminta/kuitulaboratorio/>

Xamk 2022b. Tutkimus ja kehitys. [Verkkoaineisto] [Viitattu 14.9.2022]. <https://www.xamk.fi/tutkimus-ja-kehitystoiminta/>

KUHA-HANKKEESSA MERKITTÄVIÄ TULOKSIA KUITULINJAN TOIMINTOJEN KEHITTÄMISEKSI

Jari Käyhkö & Riku Kopra & Kari Peltonen

KuHa – Kuitulinjan kaasujen hallinta -hankkeessa keskityttiin nimenmukaisesti kuitulinjan kaasuihin liittyviin tutkimuksiin. Tutkimusten pääkohteina olivat happidelignifointi, otsonivalkaisu, pesuvaiheet sekä kuitulinjalla esiintyvät haitalliset kaasut sekä näiden detekointi. Merkittäviä tieteellisiä ja käytäntöön sovellettavia tuloksia saavutettiin muun muassa happidelignifoinnin osalta. Hankkeessa luotiin uusiin mittausten menetelmiin sekä mittaviin tehdas- ja laboratoriotutkimuksiin perustuen pohja happidelignifoinnin mallintamiseksi yhteistyössä alan yritysten sekä University of Mainen kanssa. Kyseistä mallinnusta voidaan soveltaa suoraan happidelignifointiprosessien tieteelliseen ja käytännön kehittämiseen. Hankkeessa kehitettiin myös uutta koe- ja mittaustekniikkaa kaasujen sekä näiden vaikutusten karakterointiin sekä tuotettiin uutta merkittävää tietoa kaasujen lähteistä, käyttäytymisestä sekä vaikutuksista prosessissa.

JOHDANTO

Kaasujen käytöllä ja käyttäytymisellä on merkittävä vaikutus nykyaikaisen sellutehtaan toimintaan. Kaikissa uusissa sellutehtaissa on käytössä niin sanottu happidelignifointivaihe, jossa kaasudispersion avulla merkittävä osa keiton jälkeen kuituun jäävästä ligniinistä poistetaan. Happidelignifoinnilla on merkittävä vaikutus myös kuitulinjan ympäristökuormituksen pienentämiseen, koska kyseisessä vaiheessa erotettu orgaaninen aines ei kulkeudu jäteveden käsittelyyn vaan käytetään edeltävässä prosessissa, josta se kulkeutuu haihdutuksen jälkeen energian tuotantoon. Sellun valmistusprosessissa käytetään myös muita kaasumuodossa olevia kemikaaleja, ja erityisesti otsonin käyttö näyttäisi olevan lisääntymässä. Kulkeutuessaan prosessin tai prosessinosaavirtojen mukana kaasulla on myös merkittäviä haittavaikutuksia. Kaasujen läsnäolo heikentää keiton ja pesuvaiheiden toimintaa ja voi myös muilla tavoin merkittävästi haitata tehtaan ajettavuutta esimerkiksi suovan erotuksessa ja säiliöiden pintojen hallinnan kautta. Kaasujen haittoja pyritään hallitsemaan poistamalla kaasuja mekaanisesti sekä käyttämällä kaasujen poistoa edistäviä kemikaaleja.

Kuitulaboratoriolla on jo toiminnan alusta asti tutkittu kuitulinjan kaasuihin liittyviä ilmiöitä erityisesti prosessissa käytettävien kaasujen sekoituksen kannalta (Ilonen 2014, Kopra ym. 2019, Käyhkö 2010, Käyhkö ym. 2019a, Käyhkö ym. 2019b, Käyhkö ym. 2018a, Käyhkö ym. 2018b, Liukkonen ym. 2015, Mutikainen ym. 2014, Mutikainen ym. 2015, Mutikainen ym. 2017). Toiminnan myötä on kehitetty uutta kuitulinjan kaasuihin liittyvää koe- ja mittaustekniikkaa sekä osaamista. Tässä hankkeessa keskityttiin happidelignifointiin, otsonivalkaisuun sekä kuitulinjalla esiintyviin haitallisiin kaasuihin sekä näiden detektointiin.

Tässä kaksivuotisessa EAKR / Etelä-Savon Maakuntaliiton rahoittamassa hankkeessa yritysrahoittajina olivat Andritz Oy, Vaisala Oy sekä Solenis Finland Oy.

TOTEUTUS

Pääasiassa hankkeessa kartoitettiin kaasuja ja näiden vaikutuksia kolmella eri kuitulinjalla. Lisäksi tavoitteena oli tehdä tutkimuksia ulkomaisilla eukalyptuslinjoilla. Yhden eukalyptuslinjan osalta ehdittiin tekemään jo mittauksissa tarvittavat asennukset, mutta koronan takia mittauksia ei pystytty toteuttamaan. Koronapandemian aikaiset rajoitukset vaikeuttivat myös muita tehdastutkimuksia. Muun muassa yhden kuitulinjan osalta tehdaskokeita ei pystytty jatkamaan, joten tutkimukset painottuivat suunniteltua enemmän muihin tehtaisiin sekä laboratorio- ja mallinnustutkimuksiin.

TEHDASTUTKIMUKSET

Tehdastutkimuksia tehtiin kahdella kuitulinjalla. Kuitulinjalla 1 keskityttiin happidelignifointiin ja tämän jälkeisen pesun toimintaan. Kuitulinjalla 2 keskityttiin prosessissa esiintyvien haitallisten kaasujen sekä näiden vaikutusten detektointiin.

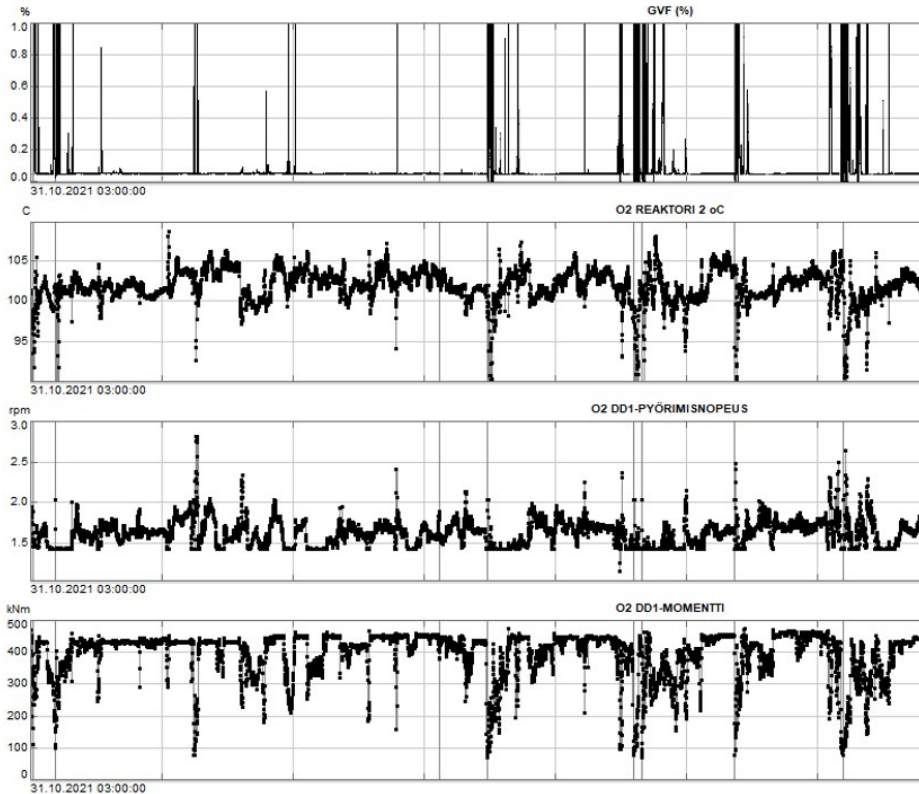
KUITULINJA 1

Kuitulinjalla mitattiin kuplia happidelignifointireaktoreiden syötöstä ja yläpäästä sekä kaasupitoisuutta happivaiheen jälkeisen pesurin syötöstä. Lisäksi ensimmäisen reaktorin syötöstä mitattiin liuennneiden aineiden pitoisuutta Vaisalan refraktometrillä. Tehtaalta saatiin olennainen prosessidata. Aineistot yhdistettiin ja analysoitiin Wedge-ohjelmalla.

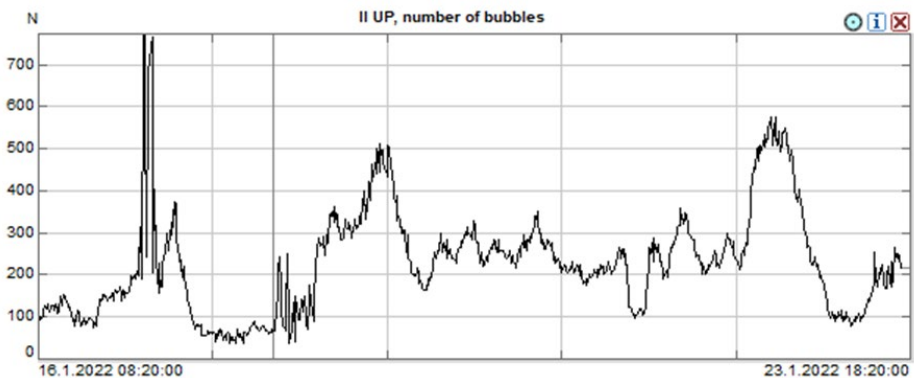
Tutkimuksiin perustuen saatiin valtavasti tietoa happidelignifoinnin toiminnasta kyseisessä tapauksessa ja erityisesti happidispersion roolista tässä. Muun muassa:

- 2. reaktorissa hapen kesimääräinen kuplakoko on hieman suurempi kuin 1. reaktorissa, ja koivulla kuplakoko on myös hieman suurempi kuin havulla. Kaikissa tapauksissa kuplakoko on kuitenkin niin pientä, että mallinnuksen mukaan reaktorit ovat saturoituneena liuennesta hapesta.

- 1. reaktorin yläpäässä esiintyy ajoittain merkittävää tärinää/huojuntaa. Tehdas asensi projektin aikana reaktorille tärinäanturin. Kupla-, anturi- sekä prosessidatan perusteella voitiin todeta, että tärinää esiintyy pääasiassa jäännöshapen määrän ja kuplakoon ollessa suurta ja pääasiassa tärinää esiintyy vaihdettaessa lajia koivusta havulle. Tämä selittyy sillä, että havulla hapen kulutus ja annos on huomattavasti suurempi kuin koivulla ja lajinvaihdon yhteydessä havukuituja ympäröi koivun suodos, johon kuplia ei generoidu yhtä helposti kuin havumassan suodokseen. Havaintoon perustuen ongelma on ratkaistavissa joko parantamalla reaktorin purkaimen kaasunpoistoa ja/tai pienentämällä hapen syöttöä lajinvaihdossa.
- 2. reaktorin yläpään lämpötila pyritään höyryn syötöllä säätämään selkeästi yli sadan asteen, jotta tästä seuraava veden höyrystyminen purkaimen jälkeen edistäisi jäännöshapen erottumista massasta ennen seuraavaa pesuvaihetta. Kaasupitoisuusmittauksella voitiin todentaa, että jättölämpötilan jäädessä alle 100 asteen pesurille menevän kaasun määrä kasvaa, mikä näkyy myös pesurin toiminnan heikentymisenä (kuva 1).
- Mallinuksen mukaan molempia reaktoreita on mahdollista ajaa siten, että kuplamaisesta jäännöshapetta ei ole jäljellä ja reaktori on kuitenkin saturoituneena liunneen hapen osalta. Lisäksi jäännöshapen määrässä tapahtuva vaihtelu on sen verran hidasta, että hapen syöttö olisi mahdollista optimoida/säätää kuplamittauksen perusteella. Mallinuksen perusteella 2. reaktorilla saavutetaan 5 °C lämpötilan alentamisella vastaava kappareduktio pienellä alkalisäyksellä. Säästyneen ylipainehöyryn hyödyntäminen sähkön tuotannossa lisäisi sähkön tuotannon tehoa noin 10 MW ja voisi myös parantaa hieman saantoa ja kuidun viskositeettiä/lujuutta. Se, voidaanko reaktoreita todellakin ajaa hyvin pienellä jäännöskaasun määrällä ja kuinka säätö onnistuisi käytännössä, tulee vielä varmentaa. Happiannoksen säätö voisi olla myös yksi ratkaisu tärinäongelmaan.

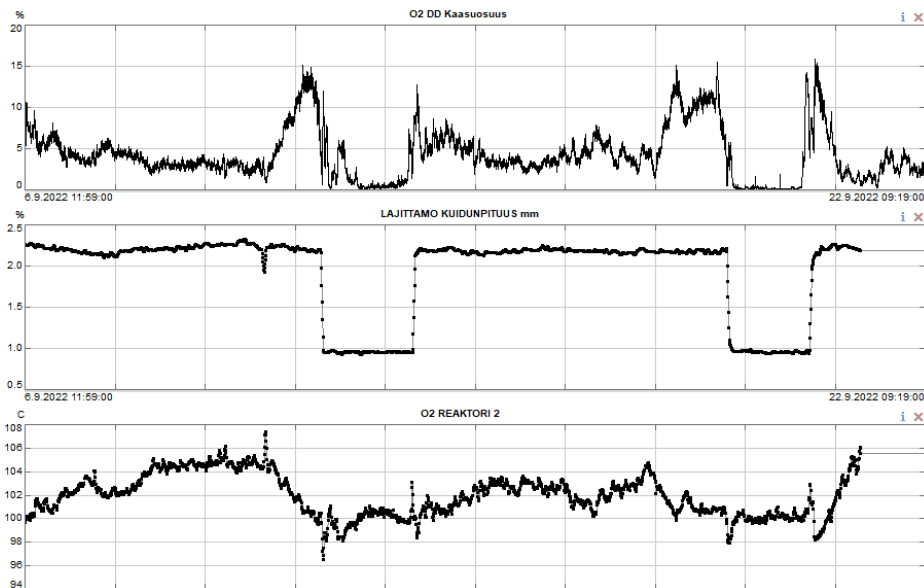


KUVA 1. Ylin: Kaasuosuus pesurille menevässä massassa. Toiseksi ylin 2. reaktorin jättölämpötila. Alimmat: Pesurin pyörimisnopeus ja momentti. (kuva Jari Käyhkö)



KUVA 2. Havaittujen kuplien määrä 2. reaktorin yläpäässä, kuvaa jäännöshapen määrää (kuva Jari Käyhkö).

Kuvassa 1 esitetty kaasuosuusmittaus tapahtui korkeassa paineessa, jolloin pääosin kaasut olivat mittauskohdassa liuenneena eikä mittaus niitä siis havaitse. Hankkeen lopussa saatiin myös asennettua toinen kaasupitoisuusmittaus juuri ennen happivaiheen jälkeistä pesuria, jolloin mittauspaine on sama kuin pesurilla. Kyseisellä mittauksella pystytään saamaan tarkka kuva kaasuosuudesta pesurin syötössä. Ensimmäisten tulosten perusteella koivumassalla kaasupitoisuus pesurilla oli hyvin alhainen mutta havumassalla korkea, vaikka jättölämpötila ja siten flässäysteho 2. reaktorilla oli korkeampi. Tämä selittyy sillä, että havulla kaasuosuus oli yleisesti huomattavasti korkeampi ja kuplakoko pienempi kuin koivulla 2. reaktorin yläpäässä.



KUVA 3. Kaasuosuus pesurin syötössä, lajittamon kuidunpituus (joka kertoo ajossa olevan massalaadun) sekä lämpötila 2. reaktorin yläpäässä. (kuva Jari Käyhkö)

Mallinnuksen kannalta olisi hyvä tietää, mikä reaktorin yläpäässä olevan jäännöshapen tilavuusosuus (X_g) on. Kuplakuvausyhteessä olevan painenpoistiventtiilin kautta reaktorista saa jäännöskaasua sisältävän suodossäyteen. Tehtaalla testattiin jäännöshapen tilavuuden mittausta paineistetun letkun avulla (kuva 4). Toiveissa on, että kyseessä olevalla menetelmällä pystyttäisiin kalibroimaan kuplakuvaus ja mittaamaan oikeaa hapen kaasuosuutta reaktorista. Mittaukseen sisältyy kuitenkin muutamia epävarmuuksia, muun muassa se, onko näyte edustava. Ja jos liuos ei ole saturoituneena hapesta, ennättäkö happea liueta näytteenoton ja erityisesti kuplien nousun aikana, jos näyte ennättää jäähtyä, jolloin hapen liukoisuus kasvaa?

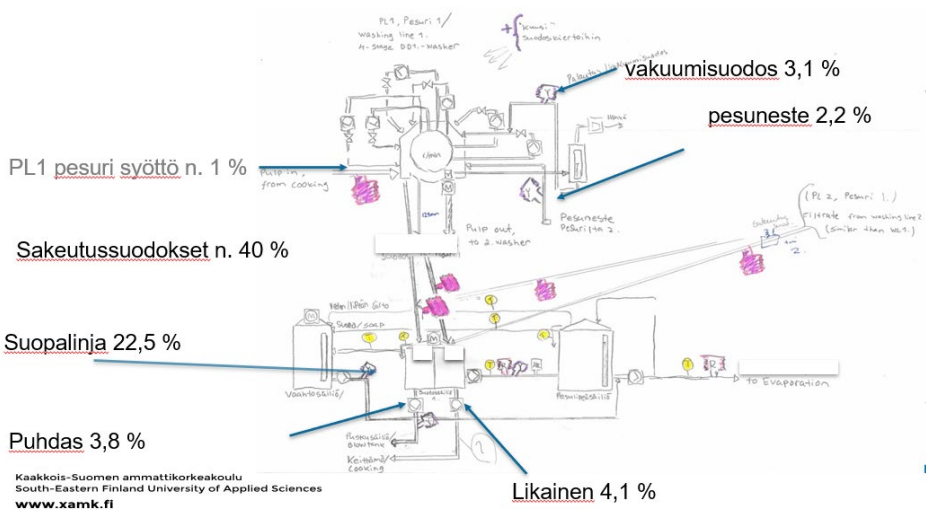


KUVA 4. Jäännöshapen tilavuusosuuden mittaaminen paineistetulla letkulla. Oikeanpuoleisessa kuvassa nuoli osoittaa letkun yläpäähän kerääntyneen kaasun (kuva Jari Käyhkö).

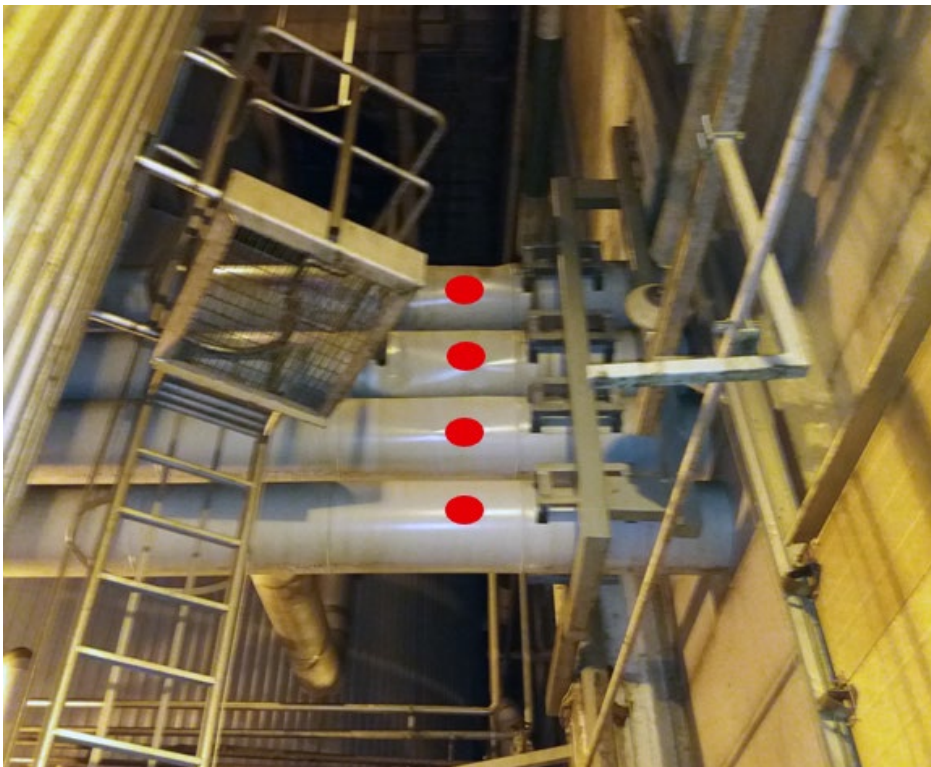
Kyseisellä kuitulinjalla testattiin myös toista näytteenottoon perustuvaa kaasuosuuden mittaustapausta, jonka pohjalta olisi mahdollista rakentaa automaattinen jatkuvatoiminen kaasuosuuden mittaussovellus. Kyseinen mittaus antoi samansuuntaista tulosta kuin letkumittaus, mutta myös tämä menetelmä sisältää samat virhetekijät kuin letkumittauksessa.

KUITULINJA 2

Kuitulinja kakkosella toteutettiin mittavat asennukset, jotka mahdollistivat jatkuvatoimisten kupla- ja TDS (total dissolved solids) -mittalaitteiden asennukset sekä näytteenoton eri kohteista kaasupitoisuuden sekä liuennneiden aineiden määrittämiseksi (kuvat 5 ja 6). Kaasupitoisuudet määritettiin laskemalla mustalipeää läpinäkyvään letkuun ja mittaamalla pinnan vajentuma kuplien erotuttua mustalipeästä. Liuennneiden aineiden mittauksen tarkoituksena oli saada tietoa kaasujen vaikutuksesta pesurien toimintaan sekä liuennneiden aineiden vaikutuksesta kaasujen käyttäytymiseen. Lisäksi prosessiin asennettiin Echo-wise-kaasuosuusmittaus sekä testattiin hankkeessa kehitettyä jatkuvatoimista mittausmustalipeän kaasupitoisuuden määrittämiseksi. Mittauksesta tehtiin myös projektin aikana keksintöilmoitus.



KUVA 5. Kuitulinjalla tehdyt mittausasennukset sisältäen kymmenen refraktometriyhdyttä, jotka mahdollistivat liuenneiden aineiden sekä kaasukuplien jatkuvoitoimiset mittaukset sekä näytteenoton kyseisistä kohteista (kuva Xamk).

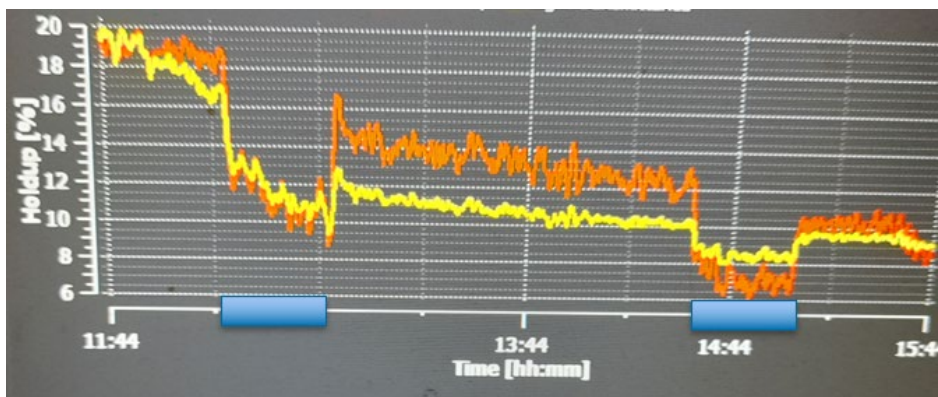


KUVA 6. Pesurilta tulevien suodosten mittausasennuspaikat (kuva Jari Käyhkö).

Kyseessä olevalla linjalla kaasut huonontavat pesurien tehokkuutta sekä aiheuttavat satunnaista mustalipeäkuohan ylikaatoa säiliöistä, jolloin mustalipeää kulkeutuu jäteveden puhdistukseen. Lisäksi kaasua on haihdutukseen menevässä mustalipeässä, jolloin se pienentää tehtaan toiminnan kannalta kriittistä virtausmäärää sekä aiheuttaa ongelmia haihdutuksessa.

Linjalla tehtiin kolmeen kertaan kaasupitoisuuskartoitukset (kuva 5) ja näiden perusteella voitiin todeta, että pesurille tulevan massan kaasupitoisuus on hyvin alhainen ja ylivoimaisesti suurin kaasun lähde on 1. pesurilta tuleva sakeutussuodos. Aluksi epäiltiin, että pesurilla on vuotoja, koska 2. pesurin vastaavassa virrassa kaasupitoisuus oli kymmenen kertaa alhaisempi. Syyksi selvisi kuitenkin kaasukuplien nouseminen vaakaputkessa putken yläpintaan ja, koska 2. pesurilta mittauspisteeseen on pitempi matka, suurempi osa kuplista ennättää nousta putken keskikohdalla olevan mittauspisteen yläpuolelle (kuva 6). Kaasun primäärilähde on siis tyhjän pesulokeron täytyessä massan sakeutussuodokseen painama ilma, jonka määrä Andritzin tekemän laskelman mukaan pitäisi olla 60 prosentin luokkaa (ilmanpaineessa).

Kuvassa 7 on demonstroitu kyseistä ilmiötä. Pesurilla lisättiin hetkellisesti sakeutussuodokseen menevää vaahdonestoaineen määrää, jolloin kuplien määrä ja koko pienenivät voimakkaasti johtuen kuplien koon kasvusta, jolloin ne nousevat vaakaputkessa nopeammin putken yläpintaan.



KUVA 7. Vaahdonestoaineen lisäyksen (sininen palkki) vaikutus kaasun määrää kuvaavaan holdup-arvoon (punainen käyrä) (kuva Jari Käyhkö).

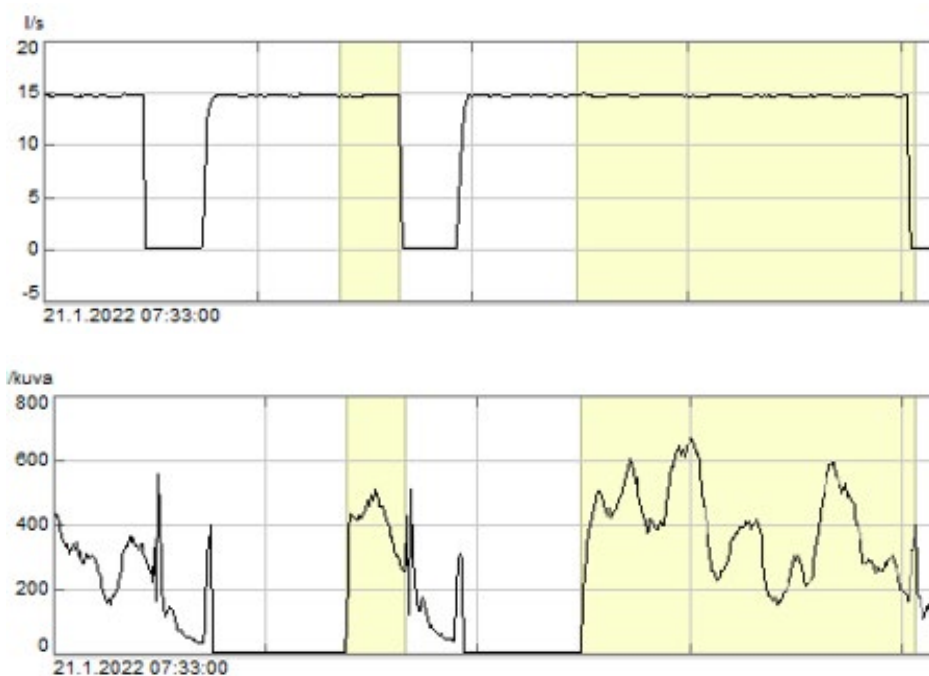
Samalla havaittiin, että kuplamittauksella pystytään mahdollisesti mittaamaan kyseisessä kohdassa vaahdonestoaineen toimivuutta. Tämä on merkittävää, koska vastaavaa mittausta ei ole olemassa ja vaahdonestoaineiden toiminnan testaus tehdasolosuhteissa on tämän vuoksi aina ollut hyvin hankalaa.

Sakeutussuodos poistuu pesurin sivuilla olevien imujalkojen kautta, ja vaahdonesto syötetään näistä vain toiseen imujalkaan. Tehdaskokeissa testattiin vaahdonestoaineen syöttämistä yhtäaikaaisesti molempiin imujalkoihin (kuva 8) sekä lisäystä vain toiseen imujalkaan, jolloin vaahdonestoaine sekoittuu tasaisemmin ja vaikutus voisi olla suurempi. Testin mukaan vaahdonestoaineen syötön jakaminen molempiin imujalkoihin näyttäisi toimivan paremmin kuin koko annoksen syöttö vain yhteen imujalkaan. Vastaavalla tavalla testattiin vaahdonestoaineen annostelua pesurille tulevaan syöttömassaan, mutta tässä tapauksessa lisäyksellä ei havaittu mitään vaikutusta eli annostelupaikkana syöttömassa ei toiminut.



KUVA 8. Vaahdonestoaineen lisäyspaikan vaikutus kaasupitoisuuteen (kuva Jari Käyhkö).

Suopalinjan kaasupitoisuus oli hyvin korkea, ja tällä on myös merkittävä vaikutus prosessin toimintaan, koska kyseiset kaasut eivät erotu suovasta ennen seuraavia prosessivaiheita. Suopalinjaan asennettiin kuplakuvaus, jolla todettiin voitavan havainnoida eroja linjan kaasupitoisuudessa (kuva 9). Pumpun pysähtyessä kuplat häviävät vähitellen mittausalueelta, ja pumpun käynnistyessä kuplien määrä on jonkun aikaa nollassa, koska pysähdyksen aikana kuplat ovat ennättäneet nousta vaahdosäiliössä ylöspäin.



KUVA 9. Ylempi kuva: Suovan virtaus. Alempi kuva: Kuplien määrä virtauksessa (kuvat Jari Käyhkö).

Suopalinjalla testattiin myös projektissa kehitettyä yksinkertaista jatkuvatoimista kaasupitoisuuden mittauslaitetta (kuva 10).



KUVA 10. Mustalipeän kaasupitoisuusmittauslaitteen prototyyppi (kuva Jari Käyhkö).

Prosessissa testattiin myös useissa kohteista putken ulkopuolelle asennettavaa Echowi-se-kaasupitoisuusmittausta, mutta tutkimusten kannalta sopivaa asennuspaikkaa ei löydetty.

Pesulinja ykkösen keiton jälkeiselle ensimmäiselle 4-vaiheiselle DD-pesurille rakennettiin kattavat mittaajärjestelyt (kuva 5). Prosessirefraktometreilla pystyttiin mittaamaan pesurille tulevan massan suodososan, vakuumisuodoksen (kuvaa poistuvaa massaa), tulevan pesunesteen ja poistuvan suodoksen liennutta kuiva-ainepitoisuutta. Kun mittaustiedot yhdistettiin tehdasdataan, erityisesti sakeus- ja virtaustietoihin pesurille, pystyttiin tekemään Wedge™-ohjelmassa sekä Excelissä tehokkuuslaskennat kyseiselle pesulaitteelle. Tehtaalla suoritettiin koeajot, joissa muutettiin pesurin syöttö- ja kakkusakeutta sekä vaiheistusta. Tulokset osoittivat, että mitä korkeampi pesusakeus, sitä tehokkaampaa pesu on. Myös vaiheistuksen olisi hyvä olla mahdollisimman korkea kuitenkin niin, ettei pesuvettä jouduta ohittamaan. Tehokkuustulosten arviointia vaikeutti laimennuskertoimen vaihtelut. Tuloksia on tarkemmin esitelty vuosijulkaisun artikkelissa ”DD-pesurin ajotavan optimointi hyödyntäen uusinta mittaustekniikkaa” ja TAPPI PEERS 2022 -julkaisussa (Kopra 2022, Kopra ym. 2022).

HAPPIDELIGNIFIOINNIN MALLINNUS

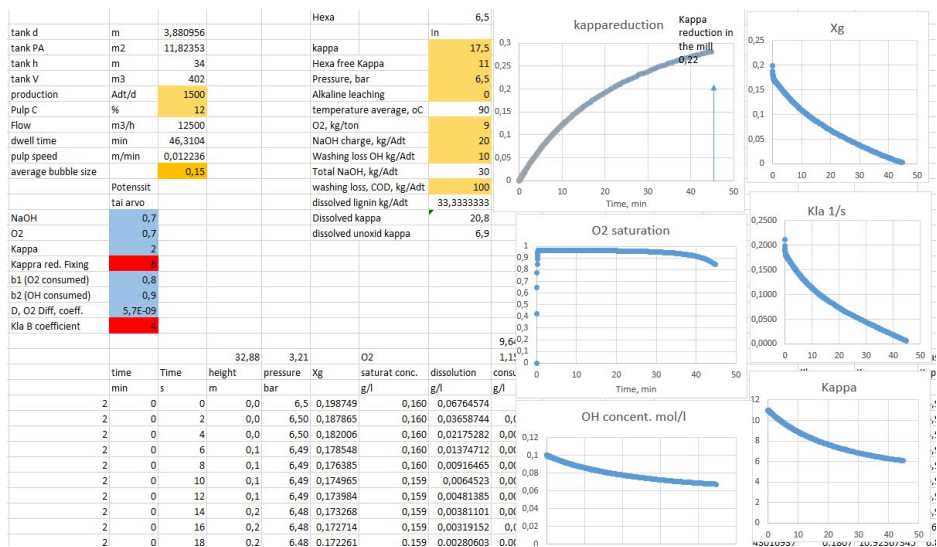
Hankkeessa edistettiin merkittäväällä tavalla happidelignifioinnin mallinnusta, mikä mahdollistaa nyt käytännön delignifointiprosessien mallinnuksen sekä mallin hyödyntämisen laajemmin tehdasprosessien kehittämisessä ja aihealueen tutkimuksissa. Mallinuksesta on kerrottu tarkemmin edellisessä vuosijulkaisussa (Käyhkö ym. 2021a) sekä uusimmasa konferenssiesitelmässä (Käyhkö ym. 2021 c). Tehdasdelignifointiprosessin mallinnus mahdollistettiin ottamalla laskennassa huomioon delignifointiin vaikuttavia tekijöitä, joita aikaisemmissa mallinuksissa ei ole huomioitu tai nämä on huomioitu puutteellisesti. Kyseisiä tekijöitä olivat seuraavat:

- Oleellisimpana hapen aineensiirron mallinnus perustuen happidispersion kuplakokoon. Aiemmissa mallinuksissa käytetty oletettua vakiota hapen aineensiirtokertoimelle, mikä ei vastaa todellista prosessia.
- Pesuhäviön ottaminen mukaan laskentaan huomioimalla hapettuvien liuenneiden aineiden reaktiot sekä jäännösalkalin alkalisuutta lisäävä vaikutus.
- Vähentämällä happivaiheessa reagoimaton HexA laskennassa käytettävästä kapaluvusta.
- Huomioimalla osittain hapetetun valkolipeän vaikutus hapen kulutukseen.

Lisäksi mallin parametrejä tarkennettiin perustuen tehdasdataan sekä laboratoriodelignifointeihin. Mallinnusta varten rakennettiin numeerinen Excel-laskentapohja, jossa voidaan helposti muuttaa mallin parametreja ja syöttöarvoja sekä automaattisesti muodostaa kuvaajia ajan funktiona halutuista mallinnuksen antamista arvoista (kuva 11). Mallinnustutkimusten myötä voitiin todentaa muun muassa seuraavaa:

- Delignifoinnin alussa reaktiot olivat pääasiassa nopeampia kuin mitä perusmalli indikoi, jolloin yhtälöön tarvitaan ylimääräinen reaktioita kiihdyttävä termi.
- Mallinnuksen mukaan eräässä prosessissa happikuplien suuren koon takia reaktori ei ole saturoituneena hapesta ja pienentämällä kuplakokoa delignifointia olisi mahdollista parantaa 30 prosenttia.

Lisäksi mallinnuksen mukaan prosessia on mahdollista ajaa delignifoinnin huonontumatta niin, että kuplamaista jäännöshapetta ei ole enää reaktorin yläpäässä. Tämä on sinänsä merkittävä asia, koska jäännöshapella voi olla merkittäviä haittavaikutuksia happivaiheen jälkeisen prosessin toimintaan. Kyseinen tulos vaatii vielä kokeellista varmistusta.



KUVA 11. Numeerista laskentaa varten rakennettu Excel-laskentapohja (kuva Jari Käyhkö).

Lisätietoa aiheesta löytyy hankkeessa valmistuneista julkaisuista (Kopra 2021, Kopra ym. 2022, Käyhkö ym. 2020, Käyhkö ym. 2021a, Käyhkö ym. 2021b, Käyhkö ym. 2021c, Käyhkö ym. 2021d, Käyhkö ym. 2022, Pappinen ym. 2020).

LÄHTEET

Ilonen, J., Eerola, T., Mutikainen, H., Lensu, L., Käyhkö, J. & Kälviäinen, H. 2014. Estimation of bubble size distribution based on power spectrum, 19th Iberoamerican Congress on Pattern Recognition, CIARP 2014.

Kopra, R., Karjalainen, S., Käyhkö, J. & Dahl, Ol. 2019. Portable refractometer for mill total dissolved solids (TDS) measurement. O PAPEL vol. 80, num. 02, pp. 68 - 73 - FEB 2019.

Kopra, R. 2021. Mittausjärjestelyt kuiva-ainetaseen laskemiseen sellutehtaan kuitulinjalla. 2021 Metsä, ympäristö ja energia – soveltavaa tutkimusta ja tuotekehitystä. Xamk kehittää.

Kopra, R., Karjalainen, S. & Tervola, P. 2022. DD washer performance optimization using the latest measurement technology, PEERS2022 conference, 30.10-2.11.2022 Providence, RI, USA.

Käyhkö, J. 2010. PULPVISION – Massan ja paperinvalmistuksen kuvantava mittaus sekä konenäkösovellukset. Paperitehdaspäivät, Savonlinna 18.–19.8.2010.

Käyhkö, J., Mutikainen, H., Peltonen, K., Kopra, R., Hakala, M. & Honkanen, M. 2018a. The State and role of gas dispersion in the oxygen delignification process, Proc. of the the 51^o Congresso Internacional ABTCP-CIADICYP 2018, October 23-25, 2018, Sao Paulo, Brazil.

Käyhkö, J., Mutikainen, H., Peltonen, K., Kopra, R., Hakala, M. & Honkanen, M. 2018b. Gas dispersion in the oxygen delignification process, Proc. of the TAPPI PEERS Conference, October 28–31, 2018, Portland, OR, USA.

Käyhkö, J., Mutikainen, H., Peltonen, K., Kopra, R., Eloranta, H., Honkanen, M. & Pesonen A., 2019a. The State and Effect of Gas Dispersion in the Oxygen Delignification Process. Paper Week 2019, March 24-26, 2019, Montreal, Canada.

Käyhkö, J., Peltonen, K., Mutikainen, H., Kopra, R., Eloranta, H., Pesonen, A. & van Heiningen, A. 2019b. The Role of Gas Dispersion in the Oxygen Delignification Process. Proc. of the TAPPI PEERS Conference, 30.10.–2.11.2019, Saint Louise, MO, USA.

Käyhkö, J., Kopra, R., Rasi, M. & Peltonen, K. 2020. KuHa-hanke – Uutta potkua kaasujen käyttöön ja hallintaan kuitulinjalla. 2020 Metsä, ympäristö ja energia – soveltavaa tutkimusta ja tuotekehitystä. Xamk kehittää.

Käyhkö, J., Pappinen, A. & Peltonen, K. 2021a. Kappareduktion mallinnus happidelignifioinnissa. 2021 Metsä, ympäristö ja energia – soveltavaa tutkimusta ja tuotekehitystä. Xamk kehittää.

Käyhkö, J. & Pappinen, A. 2021b. Happidelignifoinnin laboratoriotutkimuksiin liittyvän analyysi- ja koemetodiikan kehitys ja käyttöönotto kuitulaboratoriolla. 2021 Metsä, ympäristö ja energia - soveltavaa tutkimusta ja tuotekehitystä. Xamk kehittää.

Käyhkö, J., Peltonen, K., Mutikainen, H., Kopra, R., Eloranta, H., Pesonen, A. & van Heiningen, A. 2021c. The Role of Gas Dispersion in the Oxygen Delignification Process, TAPPI Journal 20(2021):5, pp. 311–320.

Käyhkö, J., Mutikainen, H., Peltonen, K., Kopra, R. & Honkanen, M. 2021d. Gas Dispersion in the Oxygen Delignification Process, TAPPI Journal 20(2021):5, pp. 321–330.

Käyhkö, J., Peltonen, K., Honkanen, M. & van Heiningen, A. 2022. Modelling of real oxygen delignification processes. PEERS2022 conference, 30.10.–2.11.2022 Providence, RI, USA.

Liukkonen, M., Mutikainen, H., Käyhkö, J., Peltonen, K. & Hiltunen, Y. 2015. Approach for Online Characterization of Bubbles in Liquid by Image Analysis: Application to Oxygen Delignification Process. International Journal of Computer Information Systems and Industrial Management Applications. ISSN 2150-7988 Volume 7 (2015) pp. 181–188.

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

Mutikainen, H., Strokina, N., Eerola, T., Lensu, L., Kälviäinen, H. & Käyhkö, J. 2015. On-line Measurement of the Bubble Size Distribution in Medium-Consistency Oxygen Delignification, Appita 68(2015):2, 159–164.

Mutikainen, H., Kopra, R., Pesonen, A., Hakala, M., Honkanen, M., Peltonen, K. & Käyhkö, J. 2017. Measurement, state and effect of the gas dispersion on the oxygen delignification. IPBC 2017 International Pulp Bleaching Conference. August 28-30 2017. Porto Seguro, Bahia –Brazil. 5 pp.

Pappinen, A. & Käyhkö, J. 2020. Laboratoriokokeet kuplanmuodostuksesta, aineensiirrosta ja näiden merkityksestä happidelignifoinnissa. 2020 Metsä, ympäristö ja energia - soveltavaa tutkimusta ja tuotekehitystä. Xamk kehittää.

DD-PESURIN AJOTAVAN OPTIMOINTI HYÖDYNTÄEN UUSINTA MITTAUSTEKNIKKAA

Riku Kopra & Simo Karjalainen

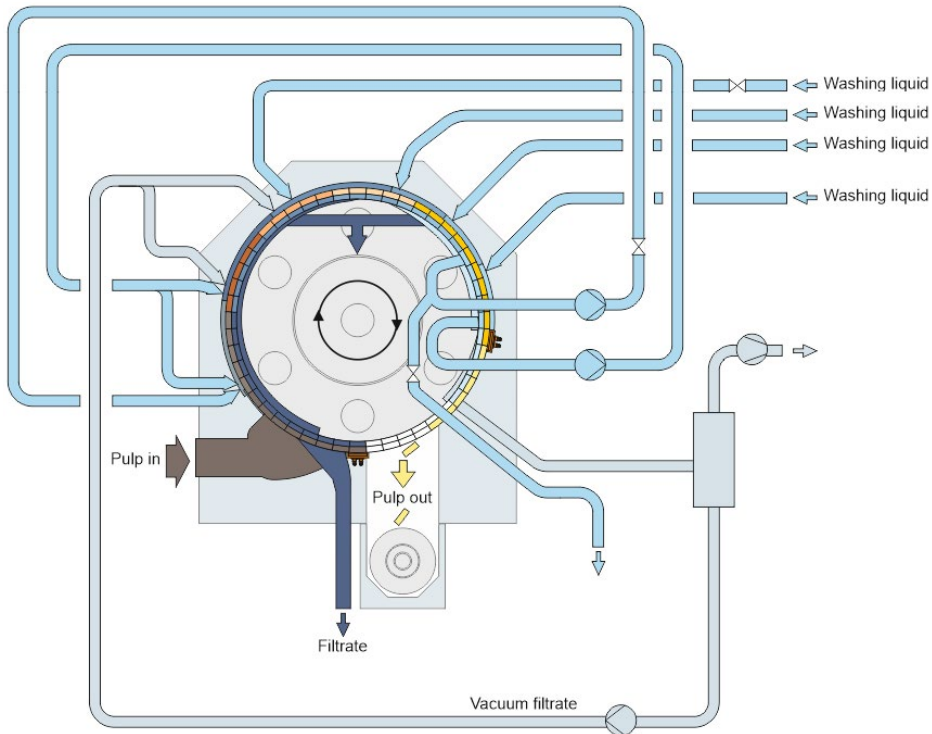
Sellutehtaan kuitulinjalla käytetään massan pesuun erilaisia pesulaitteita. Kullakin on oma ainutlaatuinen mekaaninen rakenne ja toimintaperiaate. Optimoimalla pesulaitteen eri toimintojen suorituskykyä voidaan saavuttaa korkea pesutehokkuus massan pesulle. Tässä työssä tutkittiin Andritzin Drum Displacer (DD) -pesurin suorituskykyä hyödyntäen uusinta mittaustekniikkaa.

Tutkimustyö toteutettiin 1.9.2020 alkaneessa ja 31.8.2022 päättyneessä KUHA –Kuitulinjan kaasujen hallinta -hankkeessa. Hankkeen päärahoittaja oli Etelä-Savon maakuntaliitto Kestävää kasvua ja työtä 2014–2020 Suomen rakennerahasto-ohjelman kautta. Hankkeen muut kumppanit olivat Andritz Oy, Vaisala Oy ja Solenis Finland Oy. Kuitulaboratorio on tehnyt pitkäjänteistä yhteistyötä sellutehtaan pesulaitteita valmistavan Andritz Oy:n sekä liuennan kuiva-aineen mittaamiseen soveltuvia refraktometreja kehittävän Vaisala Oy:n kanssa. Artikkelit pohjautuu yhdessä Vaisalan ja Andritzin kanssa selluteollisuudessa tehtyjen tutkimuksien tuloksiin, jotka julkaistiin marraskuussa Tappi PEERS 2022 -konferenssiesityksessä ja artikkelissa (Kopra ym. 2022).

JOHDANTO

Ajavina voimina kuitulinjan tehokkuuden parantamisessa ja erityisesti ruskean massan pesun optimoinnissa ovat taloudelliset seikat ja ympäristöasiat. Liuennut aines pitää poistaa tehokkaasti, kerätä talteen ja johtaa haihduttamoon mahdollisimman korkeassa kuiva-ainepitoisuudessa, jotta voidaan lisätä höyryn ja sähkön tuotantoa. Jos orgaaniset ainekset on erotettu huonosti massasta ja ne kulkeutuvat valkaisuun, aines kuluttaa merkittäviä määriä valkaisukemikaaleja ja tuottaa AOX-aineita, ja tuloksena saadaan kohonneet valkaisukustannukset ja kasvanut ympäristökuorma jätevedenkäsittelyssä (Hart 2017). Pesemätön aines, jota ei saada johdettua haihdutukseen, alentaa energian tuotantoa soodakattilalla. Kemikaalien, kuten natriumhydroksidin, hinta on noussut merkittävästi viime vuosina (ECHEMI.com 2022), ja ympäristölainsäädäntö on tiukentunut uusilla tehtailla erityisesti Kiinassa ja Latinalaisessa Amerikassa. Uusilla sellutehtailla myös uudet biotuotteet lisäävät kannattavuutta. Tasapaino löytyy kulloisenkin sähkön, sellun, kemikaalien ja uusien tuotteiden hinnan suhteesta.

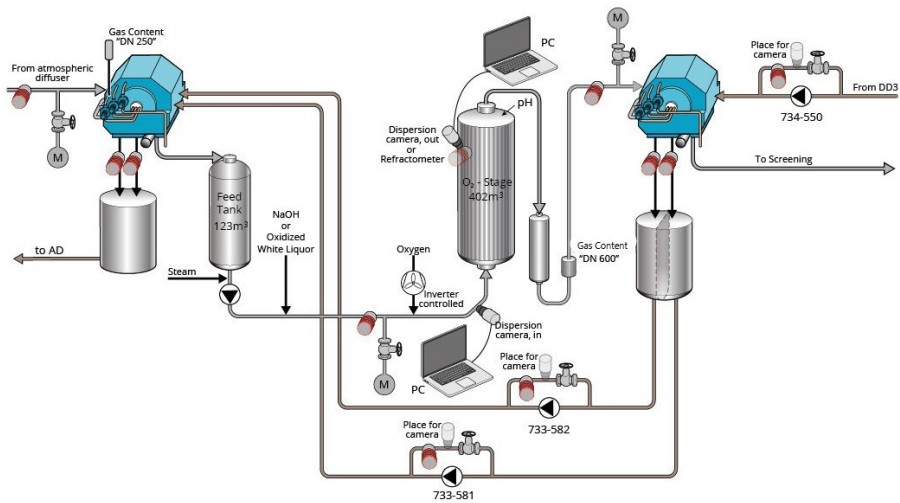
Tässä työssä tutkittiin Andritzin Drum Displacer (DD) -pesuria, jossa massa pestään syrjäytysperiaatteella hyödyntäen on-line-prosessirefraktometreja seurannassa. Edellisen kerran julkaisimme tutkimustuloksia DD-pesun optimoinnista 2011 (Kopra ym. 2011). DD-pesurin sydän on pyörivä rumpu, joka on jaettu pituussuunnassa oleviin lokeroihin jakolistoilla. Jokaisen lokeron pohja on valmistettu rei'itetystä levyateriaalista. Levyjen alla on suodosastot, jotka on yhdistetty suodoksen keräyskammioon. Massa syötetään 0,1–0,5 baarin paineella syöttölaatikkoon, josta se jakaantuu tasaisesti rummun massaosastoihin ja sakeutetaan tasaiseksi kakuksi, joka täyttää lokeron (Tervola ym. 2011). DD-pesurissa voi olla 1–4 vaihetta. Uusimmissa malleissa pesuvaiheiden lukumäärää voidaan muuttaa käytön aikana, kun massan vedenpoisto-ominaisuudet muuttuvat esimerkiksi puulajin vaihtuessa tai kuitulinjassa tapahtuvan jonkin häiriön vuoksi. Tyypillisesti pesuneste jaetaan tasaisesti rummun taka- ja etupuolelle. Kuva 1 esittää 1,7/1,2-vaiheisen DD-pesurin periaatetta.



KUVA 1. Kaaviokuva 1,7/1,2-vaiheisesta painesuodinpesurista pesuvaiheiden havainnollistamiseksi (kuva Simo Karjalainen).

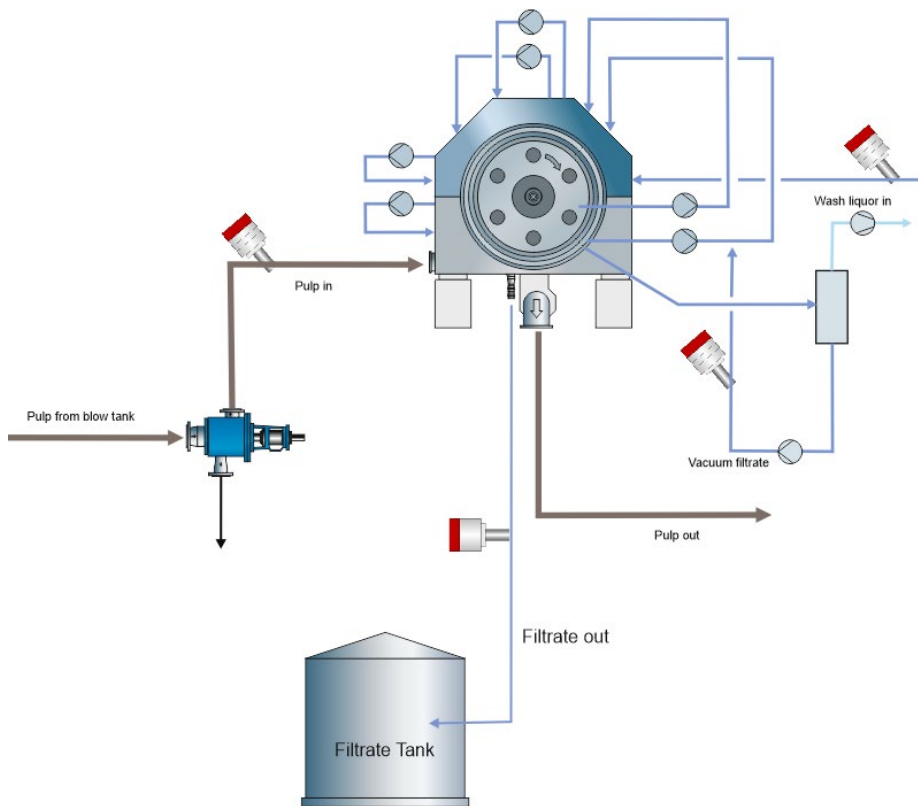
MATERIAALIT JA MENETELMÄT

Työn kokeet tehtiin kahdella eri skandinaavisella sellutehtaalla, joista toinen tuottaa lehtipuumassaa (A) ja toinen havupuumassaa (B). Lehtipuutehtaalla (pääasiassa *Betula pendula* ja *Betula pubescens*) kuitulinja koostui jatkuvatoimisesta keittimestä alaosan high-heat-pesulla, atmosfäärisestä diffusööristä sekä DD-pesurista ennen happivaihetta ja kahdesta happivaiheen jälkeen sarjassa olevasta DD-pesurista. Tuotanto koehetkellä oli luokkaa 2000 ADt/päivä, kappatavoite keiton jälkeen 17 ja ennen happivaihetta 11. Mittausjärjestelyt lehtipuulinjan happidelignifioinnin pesussa on esitetty kuvassa 2.



KUVA 2. Mittausjärjestelyt koivulinjan happivaiheessa (kuva Riku Kopra).

Havupuulinjalla (pääasiassa Scots pine ja Norway spruce) tuotetaan valkaisuamatonta korkeasaantomassaa käyttäen eräkeittoa. Massa pestään kahdella rinnakkaisella linjalla, jotka kummatkin koostuvat purkusäiliöstä, purkulinjassa olevasta romunerottimesta, 4-vaiheisesta DD-pesurista, jauhatuksesta ja seulonasta. Tuotanto oli noin 700 ADt/päivä kokeiden aikana ja kappatavoite keiton jälkeen 50. Mittausjärjestelyt keiton jälkeisellä DD-pesurilla pesulinjalla 1 on esitetty kuvassa 3.



KUVA 3. Mittausjärjestelyt 4-vaiheisella DD-pesurilla havukuitulinjalla (kuva Simo Karjalainen).

Askelvastekokeissa tehtaalla A olosuhteita (pesusakeus ja vaiheistus) muutettiin askeleittain. Vaiheistus voidaan määrittää sillä, kuinka paljon tuotetta pesunestettä ja kierrätysuodosta menee massakakun lävitse suhteessa tuoreen pesunesteen määrään pesurille.

Prosessi refraktometrien TDS-mittaustuloksien pohjalta muodostettiin reaaliaikainen tase pesurin yli. Reaaliaikaiset Y_{10} -arvot laskettiin taseesta. Tuloksissa käytettiin Y_{10} -arvoa. Sen ideana on eliminoida pesurin syöttösakeuden vaikutus laskentaan säätämällä sakeus 10 prosenttiin. On tunnettua, että syöttösakeudella on vaikutusta perinteiseen Y -pesusaantoon. Y_{10} -arvon käyttö tekee eri pesureiden vertailusta helpompaa (Tervola 2015). Tehtaan datankeruusysteemin sakeus- ja virtausmittauksia hyödynnettiin myös laskennoissa. Koejärjestelyt tehtaalla A on esitetty taulukossa 1.

TAULUKKO 1. Koejärjestelyt tehtaalla A.

| | Tavoite | Toteutunut |
|--------------------------|---------|------------|
| massakakun pesusakeus, % | 11,0 | |
| | 12,5 | 10,3–12,0 |
| | 14,0 | |
| vaiheistuksen määrä | 1,20 | 1,30 |
| | 1,45 | 1,43 |
| | 1,70 | 1,55 |

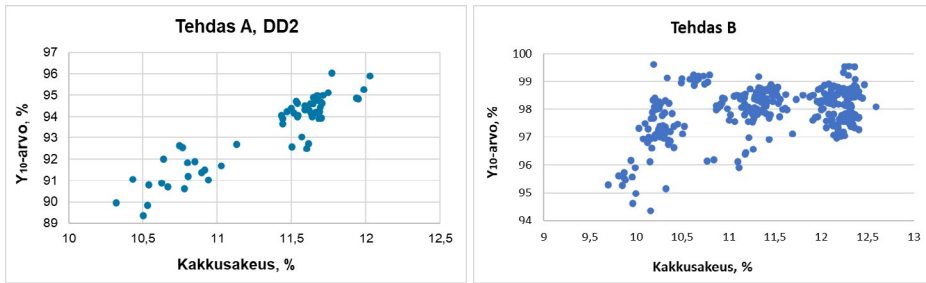
Askelvastekokeissa tehtaalla B pesusakeutta muutettiin askeleittain ja prosessirefraktometriä käytettiin mittaamaan TDS-pitoisuudet, joita käytettiin Y_{10} -arvojen laskentaan. Koejärjestelyt tehtaalla B on esitetty taulukossa 2.

TAULUKKO 2. Koejärjestelyt tehtaalla B.

| | Tavoite | Toteutunut |
|--|---------|------------|
| massakakun pesusakeus, % | 10,00 | |
| | 11,25 | 9,7–12,6 |
| | 12,50 | |
| Syöttösakeus vaihteli 4,4–4,8 prosenttiin. | | |

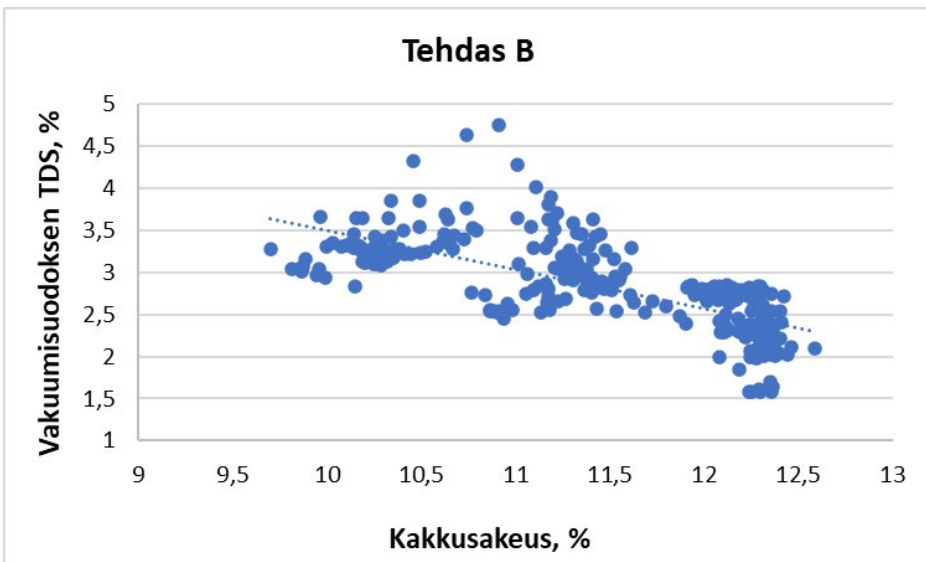
TULOKSET

Mittaamalla TDS-pitoisuus massasuspensiosta ja pesunesteestä on mahdollista mitata pesutulosta reaaliajassa. Lisäksi mittaamalla kolmea neljästä pesurille tulevasta/lähtevästä TDS-virrasta yhdessä sakeus- ja virtausmittausten kanssa on mahdollista laskea reaaliajassa pesureille tehokkuusarvo. Lisäämällä massakakun sakeutta 10,5 prosentista 12,0 prosenttiin nousi Y_{10} -arvo tehtaalla A noin viisi prosenttiyksikköä arvosta 90 tasolle 95 prosenttia, kuten voidaan nähdä kuvasta 4 vasemmalla. Tehtaalla B tulos ei ollut yhtä selvä. Kuvasta 4 oikealla voidaan kuitenkin nähdä, että kakkusakeuden lisääntyessä 10 prosentista 12,5 prosenttiin Y_{10} -arvo nousi 95 prosentista 98 prosenttiin. Massakakun sakeus ei kuitenkaan saa olla niin suuri, että massakakku vastustaa pesunesteen suotautumista.



KUVA 4. Pesusakeuden vaikutus DD-pesurin Y10-arvoon lehtipuutehtaalla ja havupuutehtaalla (kuva Riku Kopra).

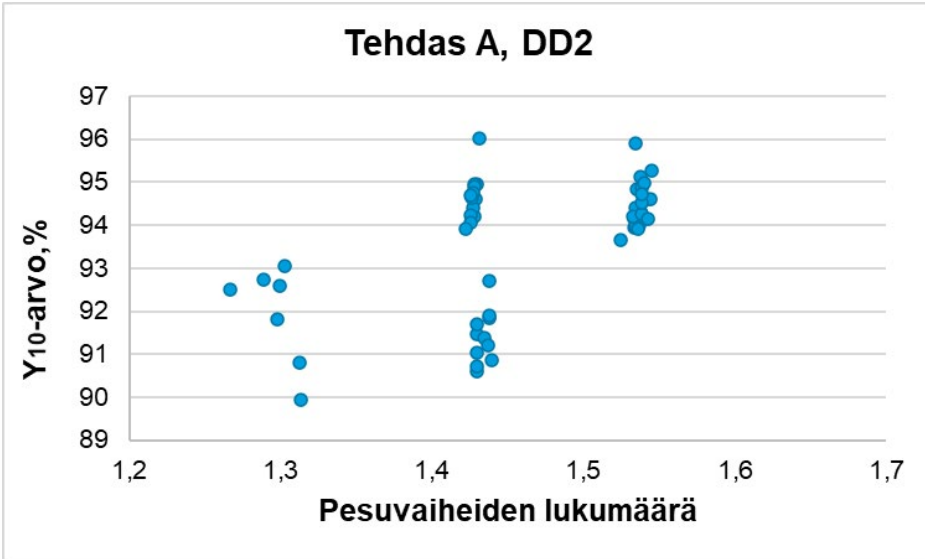
Kuvasta 5 voidaan havaita, että korkeammalla pesusakeudella vakuumisuodoksen TDS-pitoisuus laskee. Vakuumisuodoksena on imetty massakakusta massanpesun jälkeen ennen massan tippumista ruuville. Jos oletetaan, että vakuumisuodoksena kuvaa epäsuorasti poistuvan massan puhtautta, silloin voidaan sanoa, että korkeampi pesusakeus on myös hyödyllinen, jotta saavutetaan hyvä pesutulos.



KUVA 5. Pesusakeuden vaikutus DD-pesurin pesuun (kuva Riku Kopra).

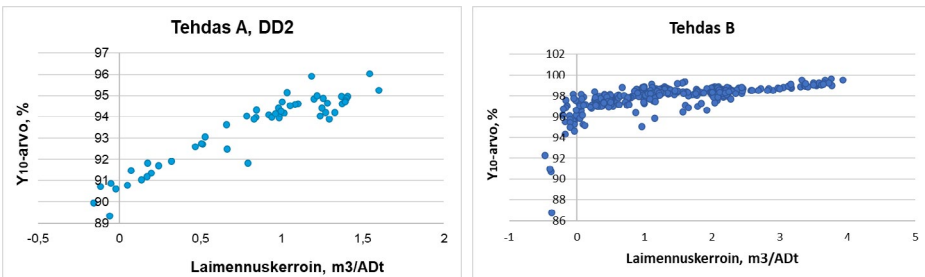
Pesuvaiheiden määrän lisäämisellä oli positiivinen vaikutus Y_{10} -arvoon, kuten kuvasta 6 voidaan havaita. Mitä korkeampi vaiheistus, sitä enemmän massa kohtaa pesunestettä. On hyödyllistä ajaa pesuria korkeimmalla mahdollisella vaiheistuksella. Jos pesurin pesuvaiheiden määrä on kiinteä, maksimi tuotanto ja massakakun suotautumisominaisuudet määräävät vaiheistuksen. Jos pesuria ajetaan liian suurella vaiheistuksella eli liian paljon

suodosta kierrätetään takaisin kakun pesuun eikä kaikki neste kykene suotautumaan kakun lävitse, täytyy osa pesurin pesunesteestä ohittaa. Tällöin pesulaite ”näkee eli kohtaa” alhaisemman laimennuskertoimen ja menettää pesurin Y_{10} -arvoa. Y_{10} -arvon kannalta on tällöin parempi vähentää pesuvaiheiden määrää, säilyttää laimennuskerroin ja välttää täysin pesunesteen ohitus.



KUVA 6. Pesurin vaiheistuksen vaikutus DD-pesurin Y_{10} -arvoon lehtipuulla (kuva Riku Kopra).

Laimennuskertoimella on selvä vaikutus siihen, kuinka paljon liuennutta ainesta voidaan poistaa pesun aikana. Jos laimennuskerroin on liian pieni tai jopa negatiivinen, pesurin toiminta romahtaa äkkiä, kuten voidaan nähdä kuvasta 7. Tehtaalla A laimennuskerroin oli melko alhainen kokeiden aikana, jotta voitiin varmistaa haihduttamon vakaa toiminta.



KUVA 7. Laimennustekijän (DF) vaikutus DD-pesurin Y_{10} -arvoon a lehtipuutehtaalla ja b havupuutehtaalla (kuva Riku Kopra).

JOHTOPÄÄTÖKSET

Hyödyntämällä kolmen tai neljän refraktometrin mittaustuloksia yhdessä sakeus- ja virtausmittausten kanssa on mahdollista luoda laskentajärjestelmä, jolla voidaan määrittää yksittäisen pesurin tehokkuus tarkasti reaaliajassa. Liuenneen kuiva-aineen (tässä pestävissä oleva aines) jatkuvatoimiset mittaustulokset mahdollistavat pesun monitoroinnin sekä määrittävät sopivat prosessiolosuhteet ja optimin ajotavan pesulaitteille. Tällöin voidaan tehostaa pesua ja vähentää pesuhäviökuormaa. Näillä on selvä vaikutus pesulinjan kokonaistehokkuuteen ja taloudellisuuteen.

Tulokset osoittivat, että valituilla muuttujilla oli vaikutusta DD-pesurin suorituskykyyn. Vaiheistuksen lisääminen nosti Y10-arvoa. Korkeampi lokerosakeus syrjäytyspesun aikana vaikutti positiivisesti pesutehokkuuteen. Sakeus ei kuitenkaan saa olla niin korkea, että massakakun suotautumisominaisuudet alkavat estää pesuveden virtausta massakakun lävitse. On-line-mittaukset mahdollistivat reaaliaikaisen seurannan ja pesulaitteen optimaalisen ajotavan etsinnän. Tulevaisuudessa voitaisiin rakentaa mittauksiin perustuva automaattinen pesuvaiheistuksen ja lokerosakeuden ohjaus. Tämä voisi olla edullista esimerkiksi kuitulinjoille, joissa käytetään erilaisia puulajeja tai vaihtelevaa tuotantoa tai massan suotautuvuusolosuhteet muuttuvat.

LÄHTEET

ECHEMI.com 2022. Sodium hydroxide international price, <https://www.echemi.com/pip/caustic-soda-pearls-pd20150901041.html>

Hart, P. 2017. Introduction, In: Hart P. and Brown M. (eds.) *Brownstock Washing, Fundamentals and Practices*, Tappi Press, Peachtree Corners, GA, USA, 2017.

Kopra, R., Karjalainen, S. & Tervola P. 2022. DD washer performance optimization using latest measurement technology, Proc. of Tappi PEERS conference, Providence, RI, USA, 2022.

Kopra, R., Karjalainen, S., Tirri, T. & Dahl, O. 2011. Optimization of pressure filter performance using refractometer - Mill investigations, *Appita Journal* 65(1):49-54, 94, 2011.

Tervola, P., Andersson, R., Danielsson, M., Engelfeldt, A., Kiero, S., Olsson, K., Pikka, O., Samuelsson, A. & Siik S. 2011. Washing, screening and cleaning of pulp, In: Fardim P. (ed.) *Chemical Pulping Part 1, Fibre Chemistry and Technology*. Paper Engineers Association, Helsinki, Finland, 2011.

Tervola, P. 2015. An equivalent wash yield and extension of the equivalent displacement ratio in chemical pulp washing. *Appita* 68(3), 258–266, 2015.

SELLUTEHTAAN HAPPAMIEN VALKAISUSUODOSTEN PUHDISTAMINEN ULTRASUODATUKSELLE

Mia Pursiainen & Sari Hyvönen & Juhani Turunen

Sellutehtaat joutuvat tulevina vuosina vähentämään merkittävästi vedenkäyttöään, mikä tuo mukanaan vakavia laatu- ja prosessiongelmia. Todennäköisesti kiertovesiä joudutaan puhdistamaan sisäisesti niin sanottujen munuaisten avulla. Yksi mahdollisuus poistaa kiertovesistä prosessille haitallista ainesta on kalvosuodatustekniikan hyödyntäminen. Ultrasuodatuksen avulla valkaisuon happamista suodoksista voidaan poistaa suurimolekyylisen orgaanisen aineksen ohella myös epäorgaanista ainesta.

JOHDANTO

Kirstyvät ympäristöviranomais- ja asiakasvaatimukset pakottavat sellutehtaita tehostamaan ulkoisia puhdistusprosessejaan ja toisaalta vähentämään tuoreveden käyttöä johtamalla valkaisu-suodoksia kemikaalikiertoon. Valkaisuon vedenkäytön vähentäminen kuitenkin tuo mukanaan erilaisia ongelmia, kuten saostumia ja jopa vaurioita prosessilaitteistoon, valkaisu-kemikaalien kulutuksen kasvua ja epäpuhtauksien määrän kasvua lopputuotteessa. Tehtaiden vedenkäyttöä ei ole saatu suljettua, mutta kehitystä tähän suuntaan on tapahtunut (Bajpai 2012, Stratton ym. 2004).

Kalvosuodatustekniikkaa (mikro-, ultra- ja nanosuodatus) valkaisuon alkalisten jätevesijäteiden puhdistamiseen on viime vuosina menestyksekkäästi tutkittu (Quezada ym. 2014). Nanosuodatuksella on saavutettavissa erittäin puhdas permeaatti (kalvon läpäissyt jae) orgaanisen ja epäorgaanisen aineksen suhteen (Häyrynen ym. 2021), mutta haittapuolena on korkea kalvomateriaalin hinta ja suuri energiankulutus.

Ultrasuodatuksessa käytetyt membraanit (huokoskoko noin 1–100 nm) ovat nanomembraaneja edullisempia ja prosessin vaatima energiankulutus oleellisesti pienempi. Membranimateriaaleja on lukuisia (esim. polysulfoni, selluloosa-asettaatti, polyeetterisulfoni, polyakronitriili ja polyvinyyliidifluoridi). Ultrasuodatusta käytetään usein sellutehtaan jätevesissäkin olevien makromolekyylien ja kolloidien erottamiseen (Singh 2005). Kullekin jätevedelle on löydettävä sopiva kalvomateriaali ja huokoskoko halutun läpäisykapasiteetin

(L/m²h) ja erotuskyvyn saavuttamiseksi. Membraanin valinnassa on myös huomioitava materiaalin kestäminen prosessiolosuhteissa (matala/korkea pH, korkea lämpötila) ja liikaantumisherkyys.

Tämän tutkimuksen tarkoituksena on ultrasuodattaa sellutehtaan valkaisuon happamia suodoksia (D₀ ja D₁) laboratoriomittakaavassa ja selvittää menetelmän kyky poistaa suodoksista orgaanista ja epäorgaanista ainesta.

Tehty tutkimus on osa Metsäbiojalostamon valkaisu-jätevesien karakterisointi ja tehokkaat käsittelytekniikat PUREWA -hanketta. Hankkeen tavoitteena oli selvittää valkaisuvesien orgaanista ja epäorgaanista koostumusta ja toisaalta testata soveltuvaa tekniikkaa valkaisuvesien biohajoavuuden parantamiseksi uudentyypin nykyistä paremman vedenpuhdistusprosessin kehittämisessä. Hanke on toteutettu Xamk Kuitulaboratoriossa vuosina 2020–2022, ja päärahoittajana oli Euroopan aluekehitysrahasto Etelä-Savon ELY-keskuksen kautta. Yrityskumppaneita olivat Aquaflow Oy, Andritz Oy, Metsä-Fibre Oy ja Vaisala Oyj.

MENETELMÄT

Tutkitut valkaisu-suodokset D₀ ja D₁ ovat peräisin suomalaiselta havusulfaattia valmistavalta sellutehtaalta. Ennen ultrasuodatuskokeita näytteet esisuodatettiin 1,6 µm:n GF/A-lasikuitusuodattimen läpi kuitujen ja kiintoaineen poistamiseksi. Näytteenoton, esisuodatuksen, ultrasuodatuksen ja näytteiden analysoinnin välissä näytteet säilytettiin kylmiössä +6 °C:n lämpötilassa. Suodatuskokeet on tehty Lappeenrannan teknillisen yliopiston omistamalla laitteistolla.

Ultrasuodatuksessa käytettiin molemmille näytteille samanlaista ultrasuodatuskalvoa. Kalvo on tyypiltään flat sheet, ja siitä leikattiin oikeankokoiset palat mallikappaleen avulla. Taulukossa 1 on esitetty kalvon tekniset tiedot.

TAULUKKO 1. UH004P-ultrasuodatuskalvon tekniset tiedot.

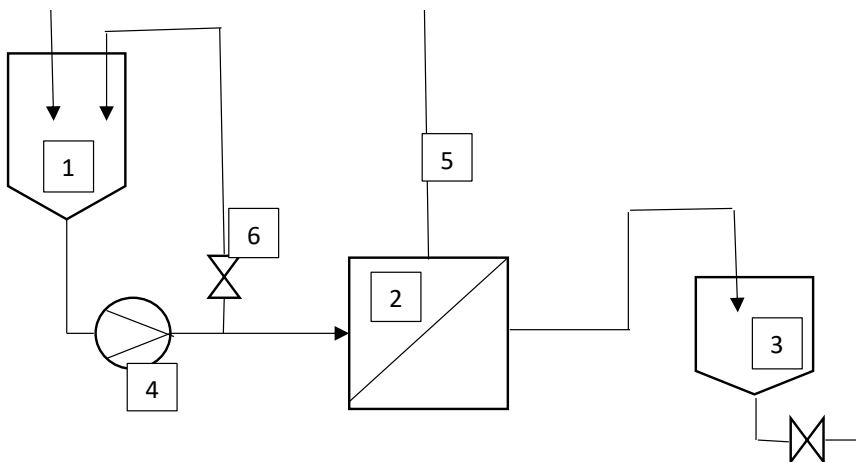
| Kalvo | Valmistaja | Huokosko-ko (Da) | Materiaali | pH-alue | Maksimi-lämpötila (°C) |
|--------|----------------|------------------|-------------------|---------|------------------------|
| UH004P | Microdyn Nadir | 4000 | Hydrofiilinen PES | 0–14 | 95 |

Suodatuskokeissa käytettiin CR250/2-tyyppistä suodatusyksikköä (Leimu 1999). Laitteistossa on kaksi (halkaisija 250 mm) suodatinyksikköä. Molemmilta yksiköiltä on omat permeaattiyhteet, mikä mahdollistaa kahden eri membraanimateriaalin testaamisen samanaikaisesti. CR250-yksikön maksimipaine suodatuksille on kymmenen baaria.

Yksikköä operoidaan korkeassa turbulentsissa virtauksessa. Turbulentti virtaus luodaan kalvon pinnalle erillisellä roottorilla, jonka lapojen maksimikehänopeus on 13 m/s. Turbulenttisen virtauksen avulla on tarkoitus pienentää konsentraatiopolarisaatiota ja vähentää näin kalvon tukkeutumista.

Laitteiston yksinkertaistettu virtauskaavio on esitetty kuvassa 1. Suodatettava näyte laitetaan vaipalliseen lämpötilasäädettävään syöttösäiliöön (1), jossa sitä sekoitetaan koko suodatuksen ajan. Näyte pumpataan letkupumpun (4) avulla kalvosuodatusyksikölle (2). Näytettä voidaan myös tarpeen mukaan kierrättää (6) takaisin syöttösäiliöön (1). Painetta säädetään erillisen paineensäätöventtiilin avulla ja myös roottorin nopeutta voidaan säätää. Osa syötetystä näytteestä palautuu retentaattina (5) syöttösäiliöön (1), kun taas permeaatti kerätään talteen erilliseen astiaan (3). Permeaatin kertymistä seurattiin vaa'an avulla sekä silmämääräisesti syöttösäiliön pinnankorkeutta seuraamalla.

Ennen ja jälkeen näytteiden suodatuksen kalvoja ja laitteistoa huuhdottiin kymmenen minuutin ajan emäksisellä 0,2-prosenttisella Ultrasil-pesuaineella. Emäspesun jälkeen laitteistoa ja kalvoja huuhdottiin vedellä kymmenen minuutin ajan. Huuhteluvesi ohjattiin viemäriin. Laitteiston ja kalvojen huuhtomisen jälkeen kalvot paineistettiin 40 °C:n lämpötilassa ja seitsemän baarin paineessa 20 minuutin ajan. Tämän jälkeen paine laskettiin kuuteen baariin, joka oli myös ultrasuodatuskokeiden ajopaine. Paineen annettiin tasaantua, minkä jälkeen permeaattia kerättiin viiden minuutin ajan puhdasvesivuon (PWF) laske-
miseksi. Laitteiston ja kalvojen pesu, kalvojen paineistus sekä puhdasvesivuon määrittys tehtiin edellisenä päivänä valmiiksi seuraavan päivän koetta varten.

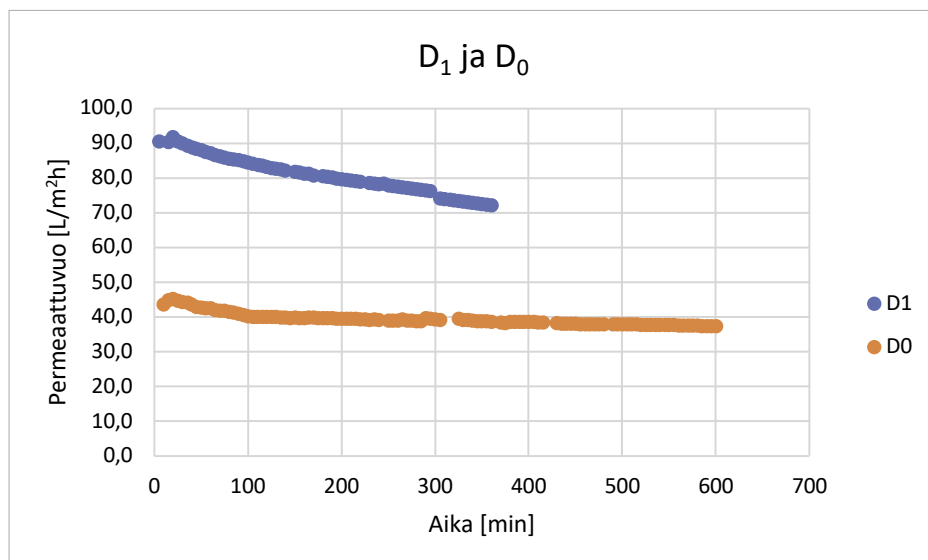


KUVA 1. Laboratoriossa käytetyn CR250/2-kalvosuodatuslaitteiston yksinkertaistettu vuokaavio. 1 = syöttösäiliö, 2 = ultrasuodatusyksikkö, 3 = permeaatin keräyssäiliö, 4 = letkupumppu, 5 = retentaatin palautuslinja, 6 = kierrätyslinja.

Laboratoriomittaukset suoritettiin Xamkin Kuitulaboratoriossa ultrasuodatuskokeiden jälkeen. Valkaisusuodosten kationi- ja anionimääritykset tehtiin ICS-6000-ionikromatografilla. Ligniinin määrää arvioitiin semikvantitatiivisesti Mettler Toledo UV5Bio UV/Vis -spektrofotometrillä aallonpituuksilla 205 nm ja 203 nm. Kemiallinen hapenkulutus (COD) mitattiin Merck Spectroquant TR 420 -lämpöhauteen ja Merck Spectroquant NOVA 60 fotometrin avulla. Väri mitattiin Merck Spectroquant NOVA 60 -fotometrillä käyttäen 340 nm:n aallonpituutta ja Pt/Co-standardia. Sähkönjohtavuus mitattiin WTW inoLab Cond 7110 -laitteella ja pH määritettiin Mettler Toledo Seven Compact -mittarilla. TOC-määritykset tehtiin Shimadzu TOC-L -laitteella

TULOKSET

Molemmilla näytteillä suodatuslämpötila oli 70 °C ja ajopaine kuusi baaria. Ultrasuodatuksessa valkaisuodokset käyttäytyivät hyvin eri tavalla sekä ajallisesti että permeaattivuon suhteen. D₁-näyte suotautui hyvin kokonaissuodatusajan ollessa kuusi tuntia. Permeaattivuo laski tasaisesti 90 L/m²h:sta noin 73 L/m²h:iin. Painetta ja lämpötilaa ei tarvinnut säätää suodatuksen aikana. Vastaavasti D₀-näytteen suodatus kesti kymmenen tuntia, ja permeaattivuo oli noin 40 L/m²h koko suodatuksen ajan. Näytteiden suodatusten eteneminen on esitetty kuvassa 2 ajan funktiona. Aika on kuvassa minuutteina. D₁ on esitetty sinisellä ja D₀ oranssilla värillä. D₀:n suodatuksen aikana letkupumpun vauhti hidastui kahteen eri otteeseen ja pysähtyi lopulta kokonaan. Systemistä jouduttiin tämän vuoksi laskemaan paineet pois, nostamaan pumpun nopeutta suuremmaksi ja aloittamaan suodatus uudelleen. Tämä ilmiö näkyy katkoina permeaattivuon kuvassa.



KUVA 2. D₁ ja D₀ permeaattivuo (L/m²h) ajan (min) funktiona.

Taulukossa 2 on esitetty valkaisuodosten alkuperäisten ja ultrasuodatettujen näytteiden tulokset sekä retentio, joka kertoo kalvon kyvystä pidättää tutkittuja komponentteja. D₀-suodoksella suodatuksen avulla saatiin parhaimmat retentiot värille (85 %) ja ligniinille (70 %). COD-, TOC- ja TC-retentiot olivat melkein 50 prosenttia. Kationeista D₀:n kohdalla kalvo pidatti eniten kaliumia (51 %). Magnesium ja kalsium jäivät 40 prosenttiin ja natrium 22 prosenttiin. Anioneista parhain retentio oli sulfaattilla, 66 prosenttia. Oksalaatin retentio oli 29 prosenttia ja kloridin seitsemän prosenttia.

D₁-suodoksella retentiot jäivät kaikkien komponenttien osalta D₀-suodoksen tuloksia huomommiksi. Paras retentio saavutettiin värin (72 %) ja sulfaatin osalta (60 %). Kationeista kalvo pidatti parhaiten kalsiumia (41 %) ja magnesiumia (37 %). Muiden kationeiden kohdalla retentiot olivat: kalium 32 prosenttia ja natrium 18 prosenttia. COD-, TOC- ja TC-retentiot olivat kaikilla 31 prosenttia. Ligniinin retentio oli 50 prosenttia. Anioneista oksalaatin retentio oli 16 prosenttia ja kloridin neljä prosenttia.

TAULUKKO 2. Valkaisuodosten D₁ ja D₀ analyysitulokset alkuperäisestä ja ultrasuodatetusta näytteestä.

| | D ₀ alku- peräinen | D ₀ UF | Retentio % | D ₁ alku- peräinen | D ₁ UF | Retentio % |
|--|----------------------------------|-------------------|---------------|----------------------------------|-------------------|---------------|
| pH | 2,67 | 2,82 | | 3,11 | 4,24 | |
| Johtokyky mS/cm | 5,08 | 4,01 | 21 | 3,52 | 2,89 | 18 |
| COD mg/L | 1970 | 1020 | 48 | 992 | 680 | 31 |
| TOC mg/L | 840 | 440 | 48 | 405 | 280 | 31 |
| TC mg/L | 840 | 450 | 46 | 405 | 280 | 31 |
| Na⁺ mg/l | 770 | 600 | 22 | 620 | 510 | 18 |
| K⁺ mg/L | 20 | 10 | 51 | 15 | 10 | 32 |
| Mg²⁺ mg/L | 50 | 30 | 40 | 30 | 20 | 37 |
| Ca²⁺ mg/L | 100 | 60 | 40 | 100 | 60 | 41 |
| Cl⁻ | 840 | 780 | 7 | 560 | 540 | 4 |
| SO₄²⁻ | 410 | 140 | 66 | 400 | 160 | 60 |
| C₂O₄²⁻ | 70 | 50 | 29 | 25 | 20 | 16 |
| Väri, Pt/Co | 790 | 120 | 85 | 150 | 42 | 72 |
| Ligniini, mg/L | 530 | 160 | 70 | 2 | 110 | 50 |

JOHTOPÄÄTÖKSET

Valkaisun happamia suodoksia voidaan menestyksekkäästi ultrasuodattaa ja saada hyviä reduktioita paitsi ligniiniyhdisteiden, myös monien anionien ja kationien suhteen. Reduktiot olivat keskimäärin parempia D_0 -suodoksella kuin D_1 -suodoksella. Materiaalikorroosiota aiheuttavien kloridien poistoon ultrasuodatus ei kuitenkaan sovellu. D_0 -suodos on hankalampi suodattaa kuin D_1 -suodos, sillä se vaatii enemmän kalvopinta-alaa ja suodatusenergiaa samassa tilavuusvirrassa. Kalvot kuitenkin likaantuvat vähitellen, jolloin tilavuusvirtaus pienenee ja tukkeutuminen lopulta on mahdollista. Nämä ongelmat on tehdasmittaisissa sovellutuksissa ratkaistava oikeiden materiaalivalintojen, kalvojen pesusekvenssien ja ylimääräisen suodatuskapasiteetin avulla. Ultrasuodatuksen konsentraateille on myös löydettävä järkevä jatkokäsittelytapa.

LÄHTEET

Bajpai, P. 2012. Environmentally benign approaches for pulp bleaching. 2nd edition. Amsterdam, Netherlands: Elsevier Science. 416 p. ISBN: 978-0-444-59421-1.

Häyrynen, M., Pursiainen, M. & Turunen, J. 2021. Sellutehtaan valkaisuodosten puhdistaminen kalvotekniikan avulla. Metsä, ympäristö ja energia, vuosijulkaisu 2021. Toim. H. Soininen, N. Haatanen ja L. Pulkkinen. Xamk kehittää 183. Mikkeli 2021. S. 278–284.

Leimu, P. 1999. Tekninen dokumentaatio, suodatuskoelaitteisto Valmet Flootek Multi CR. [Raisio]: Valmet Flootek, 30 s.

Quezada, R., Silva, C., Rezende, A., Nilsson, L. & Manfredi, M. 2014. Water science and technology, 70(5), s. 843–850.

Singh, R. 2005. Introduction to membrane technology. Hybrid systems for water purification. Julk. Elsevier, 2005. S. 1–56.

Stratton, S., Gleadow, P. & Johnson, A. 2004. Pulp mill process closure: a review of global technology developments and mill experiences in the 1990s. Water science and technology, 50 (3), s. 183–194.

ONLINE NMR MEASUREMENTS IN THE WASTEWATER TREATMENT PROCESS OF A PULP MILL

Ekaterina Nikolskaya & Yrjö Hiltunen

This paper investigates the utilisation of the Nuclear Magnetic Resonance (NMR) measurement method for the analysis and chemical optimisation of the wastewater treatment process of a pulp mill. This research is part of the Eneve project, the main funder of which is ELY Centre of South Savo (Centre for Economic Development, Transport and the Environment), in which the South-Eastern Finland University of Applied Sciences (XAMK), the University of Eastern Finland, Andritz Oy, Metsä Board Oyj, Mondi Powerflute Oy and Raute Oyj have participated. The goals of the project are the development of new measuring and modelling methods, the demonstration of the functionality of the systems based on the developed methods both in the laboratory and in the long-term testing in the pulp mill wastewater treatment process.

INTRODUCTION

Dewatering is an important step in the wastewater treatment process. Flocculation is one of the techniques of chemical conditioning used for sludge dewaterability (Wu et al. 2020). In this reaction, the flocculant, which is typically a macromolecular polymer, adsorbs on the surface of the sludge particles and that results in generating flocs of bigger sizes (Wu et al. 2020). The proper dosage of polymer is essential for producing the optimal size and strength of the flocs, and that leads to their effective further filtering and, therefore, would increase dewatering efficiency. This brings environmental and economic benefits, as the use of the polymer is better controlled, the amount removed from sludge water is maximal and the energy needed to dry and burn the filtered sludge is minimal.

One way to control the process of wastewater chemical treatment is to monitor the distribution of water in different physical states in sludge. Low-field NMR is a promising method allowing the differentiation of water states in waste-activated sludge (Hiltunen and Nikolskaya 2021, Liukkonen et al. 2016, Wu et al. 2019). This method is beneficial because it can also be applied online (Nikolskaya and Hiltunen 2019, Nikolskaya E. et al. 2019, Raunio et al. 2018) and the measuring parameter, spin-spin relaxation time T_2 , is highly sensitive to even small changes in molecule states. These advantages of the method allow you to monitor the alterations in water states distribution directly during wastewater treatment.

RESULTS

THEORY

It is often assumed that the water in wastewater sludge can be divided into four states (Vaxelaire and Cézac 2004, Yuan et al. 2017, Wu et al. 2019):

- free water that is not bound to flocs,
- interstitial water that is bound by capillary forces within the interspaces of flocs,
- surface or vicinal water that is bound to the surface of a solid particle by adsorption,
- bound intracellular or hydration water.

However, since the water state changes fast from bound to free and vice versa, in the time scale of NMR measurement, the experimental signal is formed as a linear combination of three states, i.e.

- external water of flocs (“outside flocs”),
- water of the interstitial space of the flocs (“between flocs”),
- intracellular water of flocs (“inside flocs”).

The NMR signal from sludge represents a linear combination of several exponent terms:

$$S = A_1 e^{-t/T_{21}} + A_2 e^{-t/T_{22}} + A_3 e^{-t/T_{23}}.$$

These terms describe the three states of water molecules in the sample between which there is a slow exchange. The amplitudes A_1 , A_2 and A_3 can be used for calculating the relative amounts of water in different water states, whereas the relaxation times T_{21} , T_{22} and T_{23} enable the calculation of the bound and free water in each state separately using the NMR theory of fast chemical exchange (Hiltunen and Nikolskaya 2021). In general, the longer the T_2 value is, the higher the mobility of water and the smaller the amount of bonds of water molecules with the structure and, vice versa, the shorter the T_2 , the less mobile the water there is and the more bonds there are (Wu et al. 2019).

WATER STATES DISTRIBUTIONS OF BIO- AND FIBRE SLUDGES AND THEIR MIXTURE

Sludge in this research is a mixture of biosludge and fibre sludges. Biosludge comes from municipal wastewater treatment, and fibre sludge is a waste product of a pulp mill. The mixture consists of 40% biosludge and 60% of fibre sludge, calculated from the solids content of the sludges. As shown in Figure 1, the individual sludges and their mixture contain three water states. The T_2 values of water states of fibre sludge are higher than corresponding values of biosludge, but in general, the distribution of T_2 has a similar character for all the samples. On the contrary, the huge difference between samples is observed in the distribution of the

relative amounts of waters in different states – in biosludge, the biggest contribution to the signal is from the water that is located inside the sludge particles, whereas in fibre sludge, most of the water is concentrated outside the fibre particles. Moreover, the contribution from water located inside the fibres is very low. In addition, based on the distributions of relative water amounts, the mixture does not represent a linear combination of biosludge and fibre sludge. These observations can be explained by the structural differences of these two materials, such as a more complex porous structure and the chemical composition of biosludge than of fibre sludge (Wu et al. 2020).

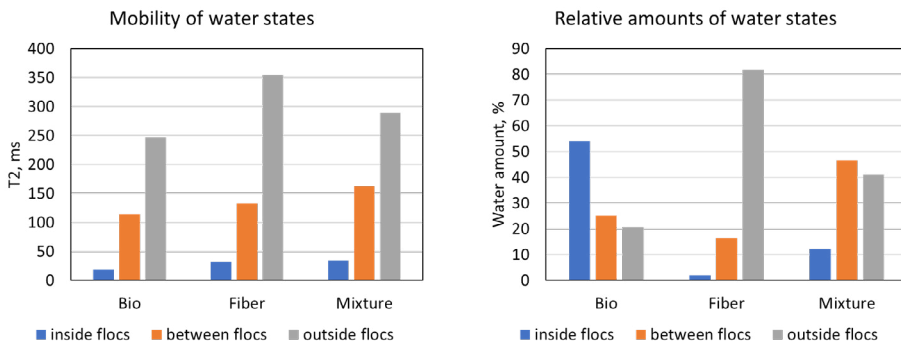


FIGURE 1. Distribution of water in biosludge, fibre sludge and their mixture (figure Ekaterina Nikolskaya).

POLYMER TEST IN THE LABORATORY

The behaviour of water in different states during its reaction with polymer is shown in Figure 2. The T2 of the water outside the flocs is about two times higher after the reaction with polymer (4.8 kg/t) than in the initial mixture, and the T2 values of other two states are also increased to some extent. At the same time, the profile of relative amounts of water states has been drastically changed after reaction with polymer. Due to the formation of flocs, water is transferred from the spaces between the flocs to the areas outside the flocs. Because of the higher contribution of free water in the sample after the polymer reaction than in the initial mixture, this water can be easier filtered out and the dewatering is improved.

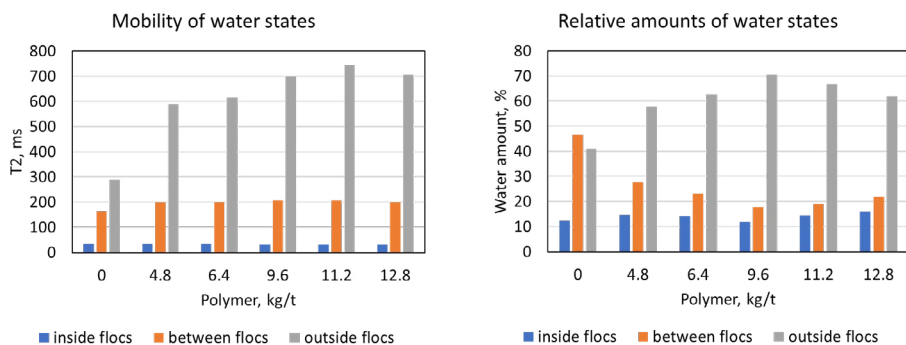


FIGURE 2. Distribution of water in sludge in a polymer test in the laboratory (figure Ekaterina Nikolskaya).

Calculated by our model, the overall amount of bonded water can be used to control the polymer reaction. The lower the amount of bonded water, the higher the amount of water will be, which can then be removed from the process. As can be seen in Figure 3, the optimal flocculation occurs at a polymer concentration of 9.6 kg/t when the amount of bonded water in the sludge is minimal. The results are confirmed by the filtering sludge test. In the test, 500 ml of sludge is poured through the wire sieve, and filtrate is gathered into the measuring cylinder. The filtrate (or free water) volume is determined after 1 minute from the start of the filtering test (Figure 4, a). The maximal value of free water is achieved at a polymer concentration of 9.6 kg/t (Figure 4, a), and it corresponds to the sample with a minimal content of bonded water (Figure 3).

The optimal polymer amount can also be confirmed by the press test. After the filtering test, the sludge samples are pressed at 6 bars for 5 minutes. The solids content of the sludge cakes are determined by the oven method. The highest solids content of the cake is at a polymer concentration of 11.2 kg/t (Figure 4, b) that is close to the value determined by our model.

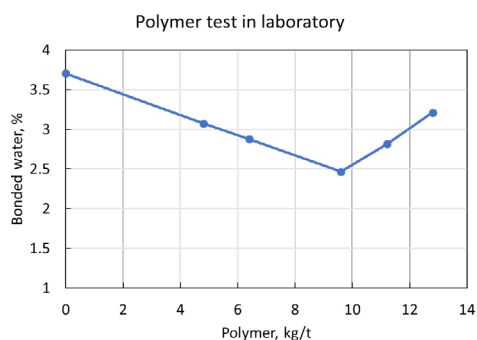


FIGURE 3. Amount of bonded water in sludge in a polymer test in the laboratory (figure Ekaterina Nikolskaya).

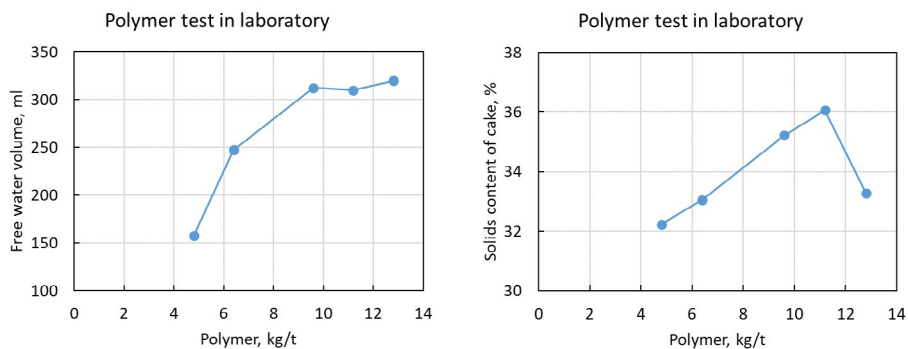


FIGURE 4. Free water volumes in the filtering sludge test (a) and the solids content of sludge cakes in a press test (b) at different polymer concentrations (figure Ekaterina Nikolskaya).

ONLINE NMR MEASUREMENTS IN A PULP MILL

The online NMR system was built based on a commercial NMR spectrometer, computer, sensors, home-made measuring probe and a pump with a control unit. The system was fully automated, and it was tested in a laboratory and industrial environment in our earlier works (Nikolskaya and Hiltunen 2019, Nikolskaya E. et al. 2019, Raunio et al. 2018).

The system was installed in the wastewater treatment process of a pulp mill, connected to the process line, and the continuous measurements were set in a bypass stop-and-flow mode (Figure 5).

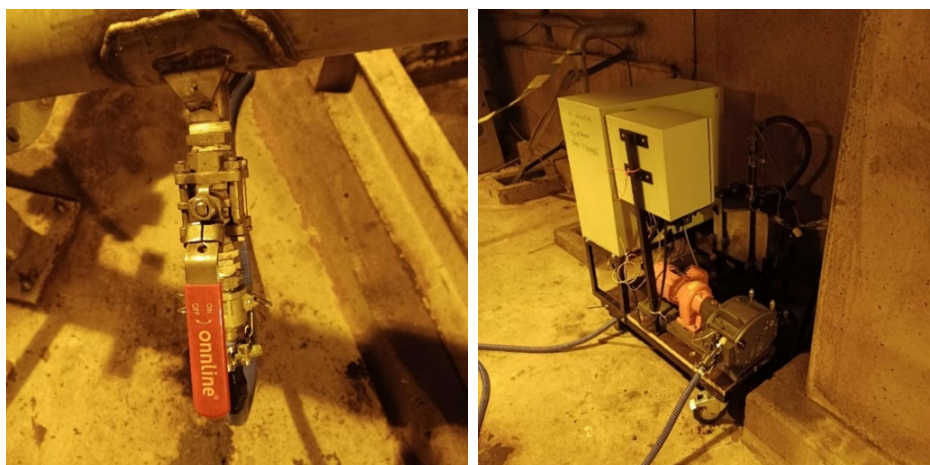


FIGURE 5. The online NMR system in a pulp mill; the connection to the process is shown on the left and the online system is shown in the photo on the right (photos by Yrjö Hiltunen).

Continuous measurements in a pulp mill were made during one month. In Figure 6, the calculated bonded water amounts - based on our model - are presented as the average values of three hours of data. Such an average period was applied because of the high inhomogeneity of the sample. As it can be seen in the graph, there are also missing values because the system sometimes was not able to collect the samples for measurements. The irregular and problematic sampling was assumably due to the higher solids content of the samples in the process (3%) than in the laboratory (1-2%). Furthermore, higher solids content probably caused the higher bonded water amounts in the process compared to the laboratory (Figure 3). Despite some challenges, the long-term online measurements were implemented in-field in a harsh environment for the first time, which gives new opportunities to study the process of wastewater treatment. We are continuing to analyse and compare the NMR data to process data from the automation system.

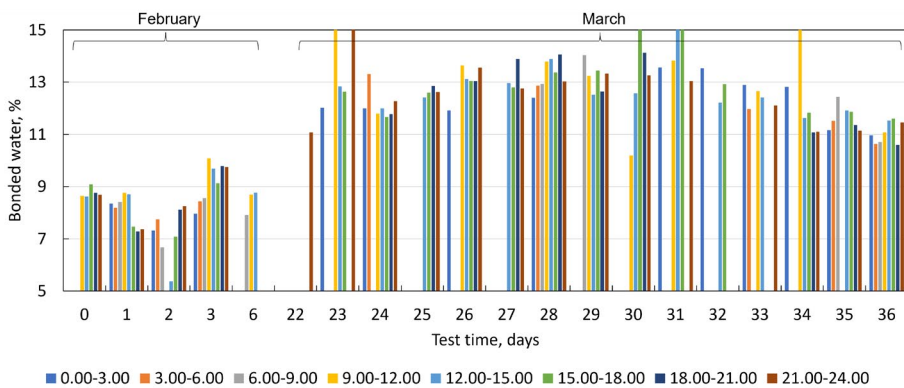


FIGURE 6. Measurements of bonded water in a pulp mill (figure Ekaterina Nikolskaya).

CONCLUSION

Based on what was obtained from the NMR information, we have created a model which makes it possible to calculate the relative amounts of bonded and free water in all water states of sludge. The monitoring of bonded water content might provide information about the proper dosage of chemical and, more generally, about the effectiveness of the wastewater treatment process. The validity of the approach is shown in the laboratory and confirmed by reference methods, and the online application of this method in the wastewater treatment process of the pulp mill is promising. Therefore, the further development of this method is to be continued.

ACKNOWLEDGEMENTS

The authors are grateful for the financial support from the Centre for Economic Development, Transport and the Environment (ELY Centre) for South Savo (Finland), European Regional Development Fund (ERDF) and partner companies.

REFERENCES

- Hiltunen Y. and Nikolskaya E. (2021) Enerve-projekti – mittaus- ja mallinnusmenetelmä energiategokkaaseen vedenpoistoon. Metsä, ympäristö ja energia. Soveltavaa tutkimusta ja tuotekehitystä. Vuosijulkaisu, 285–291. <https://urn.fi/URN:ISBN:978-952-344-408-9>.
- Liukkonen, M., Nikolskaya, E., Selin, J., Hiltunen, Y. (2016). Water Content Analysis of Sludge Using NMR Relaxation Data and Independent Component Analysis. In: Proc. the 9th EUROSIM Congress on Modelling and Simulation (EuroSim 2016), pp. 289–293. <http://dx.doi.org/10.3384/ecp17142317>.
- Nikolskaya, E. and Hiltunen, Y. (2019). Molecular Properties of Fatty Acid Mixtures Estimated by Online Time-Domain NMR. Applied Magnetic Resonance, 50: 159–170. <https://doi.org/10.1007/s00723-018-1046-6>.
- Nikolskaya, E., Janhunen, P., Haapalainen, M., Hiltunen, Y. (2019). Solids content of black liquor measured by online Time-Domain NMR. Applied Sciences, 9(10), 2169. <https://doi.org/10.3390/app9102169>.
- 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, 33(4), 625–631. <https://doi.org/10.1515/npprj-2018-0010>.
- Yuan D., Wang Y., Qian X. (2017). Variations of internal structure and moisture distribution in activated sludge with stratified extracellular polymeric substances extraction. International Biodeterioration & Biodegradation 116, 1–9. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ibiod.2016.09.012>.
- Vaxelaire J., Cézac P. (2004). Moisture distribution in activated sludges: a review. Water Research 38, 2215–2230. <http://dx.doi.org/10.1016/j.watres.2004.02.021>.
- Wu B., Zhou K., He Y., Chai X., Dai X. (2019). Unraveling the water states of waste-activated sludge through transverse spin-spin relaxation time of low-field NMR. Water Research 155, 266–274. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2019.02.031>.
- Wu B., Dai X., Chai X. (2020) Critical review on dewatering of sewage sludge: Influential mechanism, conditioning technologies and implications to sludge reutilizations. Water Research 180, 115912. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2020.115912>.

ESIHYDROLYSAATIN KONSENTOINTIMÄÄRÄN VAIKUTUS (OLIGOMEERISEN) KSYLAANIN SAOSTUVUUTEEN

Lotta Pirinen & Ella Tirronen & Marja Mikola

Hemiselluloosaa esiintyy kaikissa kasveissa, ja ne ovat selluloosan jälkeen maailman yleisimpiä polysakkarideja. Hemiselluloosaa hyödynnetään metsäteollisuudessa rajallisesti, vaikka potentiaalisia mahdollisuuksia on runsaasti. Tämän arvokkaan materiaalin talteenottamiseksi Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulun Kuitulaboratoriolla on tutkittu ksylaanin, koivun pääasiallisen hemiselluloosan talteenottoa biojalostuksessa. Tähän tutkimukseen liitteen on selvitetty esihydrolysaatin konsentroidintimäärän vaikutusta ksylaanin saostuvuuteen.

Tutkimus on toteutettu osana Hemiselluloosan tehokas hyödyntäminen biojalostuksessa -hanketta, joka on Oulun yliopiston Kemiallisen prosessitekniikan tutkimusyksikön ja Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulun Kuitulaboratorion yhteishanke. Hankkeessa on tutkittu hemiselluloosan talteenottoa koivuhakkeesta ennen varsinaista prosessia pyrkimyksenä olla vaikuttamatta lopputuotteen laatuun. Hankkeen rahoittajana toimivat Euroopan aluekehitysrahasto Pohjois-Pohjanmaan ja Etelä-Savon maakuntaliittojen kautta sekä Andritz Oy, Mondi Powerflute Oy, St1 Oy ja Vaisala Oy.

JOHDANTO

Hemiselluloosat ovat hiilihydraattipolymeerejä, jotka koostuvat polysakkarideista. Hemiselluloosan tehtävä on vahvistaa puukuidun rakennetta kiinnittämällä selluloosa ja ligniini toisiinsa. Lisäksi hemiselluloosat osallistuvat yhdessä ligniinin kanssa puun soluseiniä vesipitoisuuden säätelyyn. (Alén 2000.) Lehti- ja havupuiden hemiselluloosien rakenne ja koostumus eroavat toisistaan. Lehtipuissa on tyypillisesti eniten ksylaania, kun taas havupuiden hemiselluloosista valtaosa on glukomannaania. (Sjöström & Janson 1977, 138) Ksylaanin käyttökohteista yleisesti tunnetuin on elintarviketeollisuudessa käytetty koivusokeri eli ksylitoli. Ksylaania voidaan hyödyntää myös erilaisissa ravintoaineissa ja rehuissa. Muita potentiaalisia jalostuskohteita ovat furfuraali ja etanoli, jotka ovat niin sanottuja matalan lisäarvon tuotteita, sekä erilaiset korkean lisäarvon tuotteet, kuten hydrogeelit ja barrierikalvot. (Naidu ym. 2018)

Hemiselluloosia voidaan erottaa puuaineksesta uuttamalla. Uutto ei perinteisesti kuulu paperi- ja kartonkimassan valmistusprosessiin, mutta liukoselluntuotannossa ennen massan keittoa tapahtuvalla uutolla eli esihydrolyysillä pyritään poistamaan kaikki hemiselluloosa puuhakkeesta. Hemiselluloosan tehokas hyödyntäminen biojalostuksessa -hankkeessa esihydrolyysi on toteutettu paineistettuna kuumavesiuuttuna (Pressurized Hot Water Extraction, PHWE), jolla on pyritty poistamaan vain normaalisti keitossa erottuva hemiselluloosa. PHWE:stä saadaan esihydrolysaattia eli hemiselluloosapitoista uutetta. Lehtipuusta uutettu esihydrolysaatti sisältää pääasiassa ksylaania, mutta myös pieniä määriä glukoosia. Uuttoajan pidentyessä oligomeeriset hemiselluloosat pilkkoutuvat monosakkarideiksi ja näiden hajoamistuotteiksi (Yoon ym. 2008). Lisäksi uutteen on myös muita puusta liukenevia komponentteja, kuten ligniiniä. Tästä johtuen ksylaanit on erotettava uutteen ja puhdistettava epäpuhtauksista ennen jatkojalostusta.

Oligomeeriset ksylaanit ovat liukoisia veteen, mutta ne saostuvat lisättäessä riittävästi liukoisuutta alentavaa liuotinta, esimerkiksi etanolia (Naidu ym. 2018; Sjöström & Janson 1977, 144; Al-Rudainy 2020, 26). Etanoli on liuottimena helpokäyttöinen ja turvallinen, ja sillä saostettuna saavutetaan suhteellisen puhtas hemiselluloosafraktio (Gong ym. 2012).

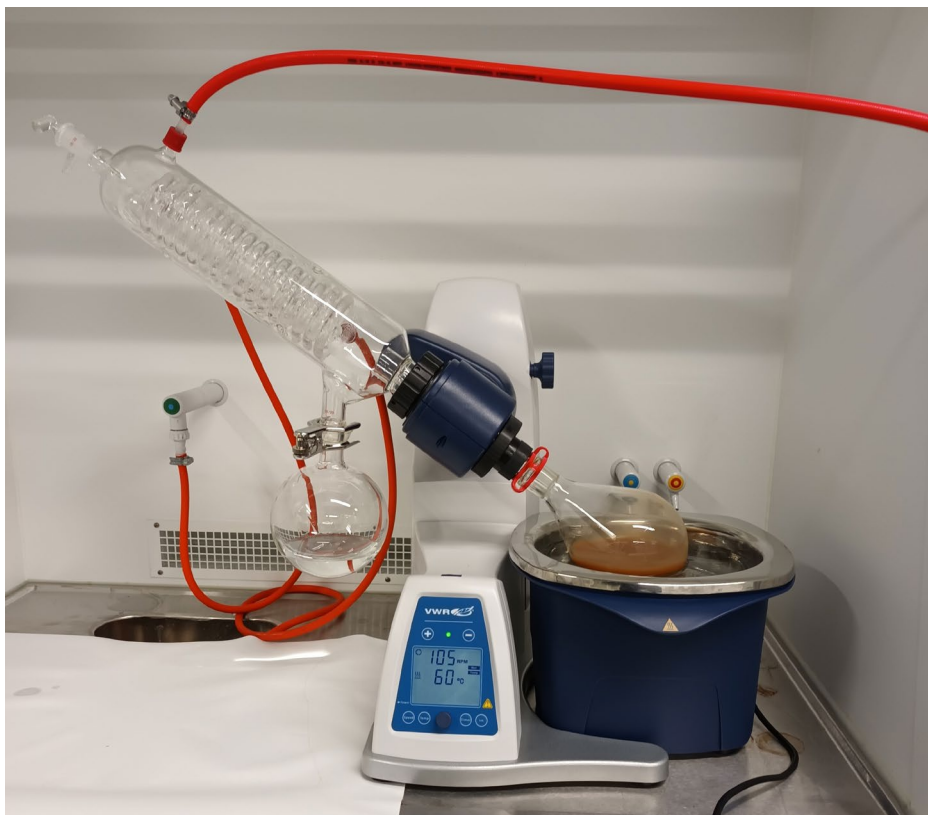
Ennen ksylaanin saostamista esihydrolysaatti on konsentroitava. Tämä paitsi vähentää etanolin kulutusta, myös pienentää tarvittavan laitteiston kokoa sekä vähentää energian kulutusta. Tässä tutkimuksessa esihydrolysaatti konsentroidiin alipainehaihdutuksella. Haihdutus on erotusprosessi, jossa liuoksesta poistetaan haihtuva liuotin lämmön, paineen tai molempien avulla (Pihkala 2011, 109). Veden kuten muidenkin nesteiden kiehumispiste muuttuu paineen vaikutuksesta, joten painetta alentamalla voidaan laskea höyrystymiseen tarvittavaa lämpötilaa.

Tätä tutkimusta varten sokereiden talteenottoa etanolipitoisesta liemestä kehitettiin edellisestä menetelmästä, jossa sakka erotettiin uutteen alipainesuodatuksella. Haasteena menetelmässä oli, että samalla osa sakasta suodattui imupaperin läpi. Tämä vaihe korvattiin tässä tutkimuksessa sentrifugoinnilla, jonka todettiin toimivan hyvin hemiselluloosapitoisen sakan erottamiseen etanoliliemipitoisesta uutteen.

MENETELMÄT JA MATERIAALIT

Tutkimuksessa käytetty esihydrolysaatti oli uutettu koivuhakkeesta PHWE-uuttuna. Pano- uutto toteutettiin bioreaktorilla, joka on tehdasmittakaavan paineistettu jatkuvatoiminen ruuvireaktori (kokonaistilavuus 220 dm³, maksimipaine 10 bar ja maksimikäyttölämpötila 180 °C). Esihydrolyysin tavoitelämpötila oli 160 °C ja tavoiteaika 30 minuuttia. Uutteen ksylaanioligomeerien pitoisuus oli 5,8 g/l ja ksyloosimonomeerien pitoisuus 0,7 g/l.

Esihydrolysaattinäytteet väkevöitiin alipainehaihdutuksella VWR LCD Digital Rotary Evaporator -pyöröhaihduttimella (kuva 1). Haihdutus tehtiin 0,9 baarin alipaineessa ja 60 °C:n lämpötilassa pyörimisnopeuden ollessa 100–120 rpm. Uutetta konsentroitiin 20, 40, 60, 80 ja 90 prosenttia sen alkuperäisestä tilavuudesta. Haihdutuksen jälkeen näytteet jäähdytettiin 4 °C:n lämpötilaan.



KUVA 1. VWR LCD Digital Rotary Evaporator -pyöröhaihdutin (kuva Lotta Pirinen)

Konsentroidut hydrolysaattinäytteet saostettiin kylmällä (4 °C) denaturoidulla etanolilla (Industol PEA2, Altia). Jäähdytetyn (4 °C) uutteen joukkoon lisättiin nelinkertainen määrä etanolia näytteen tilavuuteen nähden samalla sekoittaen uutetta. Sekoitus lopetettiin kyslaanin alettua saostumaan. Tämän jälkeen näytteitä laskeutettiin 4 °C:n lämpötilassa seuraavaan päivään. Laskeutetusta näytteestä dekantoiitiin etanolipitoista uutetta siten, että sakkapitoisen näytteen tilavuus oli 50 ml. Näytteet sentrifugoitiin Eppendorf Centrifuge 5804 -laitteella 15 minuutin ajan kierrosnopeuden ollessa 3000 rpm. Sentrifugoinnin jälkeen neste kaadettiin pois sentrifugiputkesta ja pohjalle painunut sakka otettiin talteen ja kuivattiin 55 °C:ssa lämpökaapissa. Lopuksi näyte jauhettiin hienoksi morttelissa jatkokäsittelyä varten. Kuvassa 2 on esitetty kuivattu sakkanäyte ennen ja jälkeen jauhamisen.

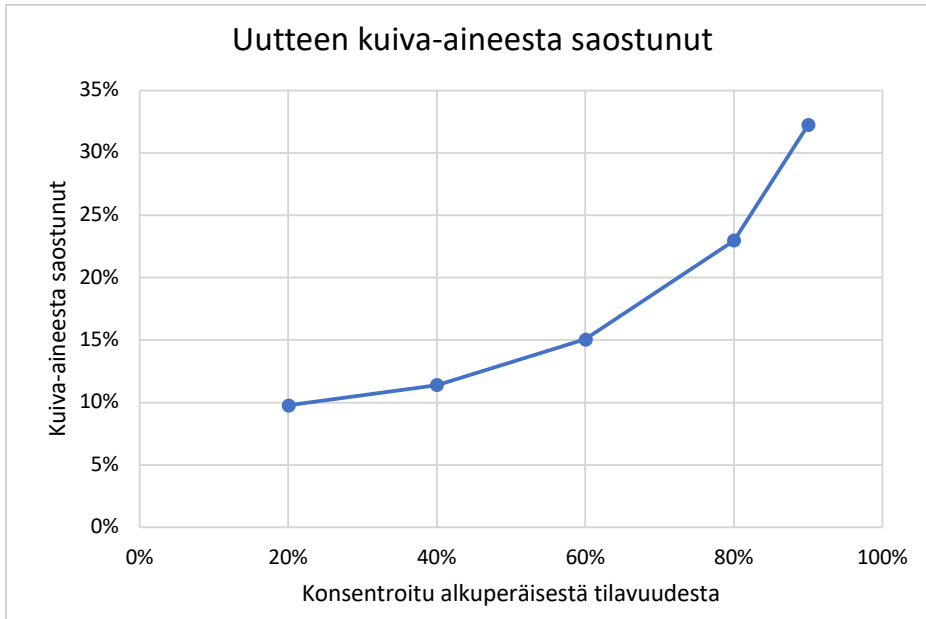


KUVA 2. Hemiselluloosapitoinen kuiva sakka ennen ja jälkeen jauhamisen (kuva Lotta Pirinen)

Näytteet analysoitiin Oulun yliopiston Kemiallisen prosessitekniiikan tutkimusyksikössä. Analyysimenetelmänä käytettiin korkean erotuskyvyn nestekromatografiaa (High Performance Liquid Chromatography, HPLC), jolla mitattiin ksyloosi-, glukoosi- ja arabiinosisimonomeerit, etikkahappopitoisuudet sekä oligomeeristen sokereiden kokojakauma. Oligomeeristen sokereiden määrän mittausta varten näytteille tehtiin happokatalysoitu totaalihydrolyysi, jossa oligomeerit hajotettiin monomeereiksi, joiden pitoisuudet mitattiin edellä mainitulla HPLC-analyysillä. (NREL/TP-510-42618)

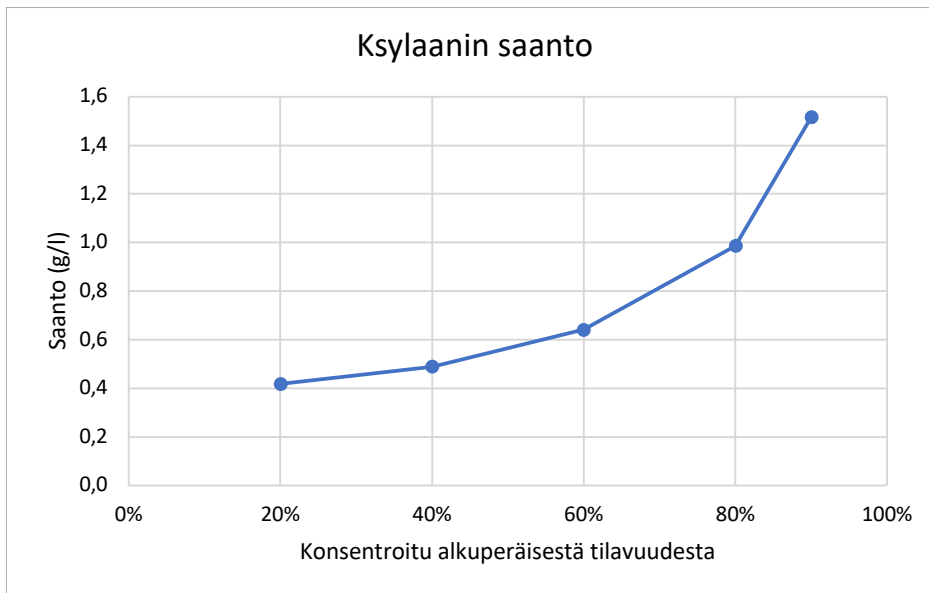
TULOKSET

Alipainehaihdutetuista näytteistä saatiin saostumaan 9,7–32,2 prosenttia alkuperäisen uutteen kuiva-aineesta. Saanto lisääntyi konsentroidimäärän kasvaessa. Näytteiden kuiva-ainesaaannot on esitetty kuvassa 3.



KUVA 3. Hydrolysaattinäytteiden kuiva-ainesaaannot alkuperäisestä hydrolysaatin tilavuudesta konsentroidimäärän kasvaessa.

Saostetut näytteet sisälsivät pääasiassa oligomeerisiä sokeriketjuja, eikä lyhytketjuisia monomeerejä ollut mitattavia määriä. Eniten ksylaania saatiin hydrolysaattinäytteestä, jota oli konsentroidu 90 prosenttia alkuperäisen uutteen tilavuudesta. Tästä näytteestä saatiin saostettua 1,5 grammaa ksylaania litrasta alkuperäistä uutetta. Kuvassa 4 on esitetty kaikkien analysoitujen näytteiden ksylaanisaaannot konsentroidun määrän funktiona. Tulosten perusteella voidaan todeta ksylaanin saannon paranevan, kun konsentroidimäärää alkuperäisen uutteen tilavuuteen nähden lisätään.



KUVA 4. Konsentroidin määrän vaikutus hydrolysaattinäytteiden ksylaanisintaan

Glukoosioligomeerien saanto muuttuu samassa suhteessa ksylaanin kanssa suhteellisen määrän ollessa sama kuin alkuperäisessä uutuksessa. 90 prosenttia konsentroidusta esihydrolysaatista saatiin otettua talteen 44 prosentissa glukoosioligomeereistä. Sokerien kokojakaumamittauksista ei saatu merkittävää tietoa kromatogrammien samankaltaisuuden vuoksi. Ainoa, mitä kromatografimittauksen perusteella voidaan todeta, on, että talteenotettujen sokeriketjujen pituus on yli 15 sokeriyksikköä.

JOHTOPÄÄTÖKSET

Konsentroidin määrä vaikuttaa ksylaanin saostuvuuteen. Paras ksylaanisaino, 1,5 grammaa ksylaania litrasta konsentroiduutta uutetta saatiin, kun uutetta konsentroidtiin 90 prosenttia sen alkuperäisestä tilavuudesta. Vastaavasti vähäisin saanto, 0,4 g ksylaania litrasta uutetta saatiin, kun uutetta konsentroidtiin 20 prosenttia sen alkuperäisestä tilavuudesta. Tutkimuksen tarkoituksena oli tutkia esihydrolysaatin konsentroidin määrän vaikutusta ksylaanin saostuvuuteen. Tulosten perusteella voidaan todeta, että ksylaanin saanto paranee, kun esihydrolysaatin konsentroidin määrää lisätään.

Jatkotoimenpiteenä tulisi selvittää konsentroidin määrän vaikutusta ksylaanin saostuvuuteen myös muilla konsentroidin menetelmillä, esimerkiksi ultrasuodatuksella. Sokeriketjujen pituuksista saatiin suuntaa antavaa tietoa, mutta ksylaanin kokojakaumaa olisi tarpeen tutkia tarkemmin ksylaanin jalostettavuuden ja potentiaalisten sovelluskohteiden kannalta.

LÄHTEET

- Alén, R. 2000. Structure and chemical composition of wood. Teoksessa Technical Association of the Pulp and Paper Industry, Suomen paperi-insinöörien yhdistys, Stenius, P., Paulapuro, H. & Gullichsen, J. Papermaking science and technology: Book 3, Forest products chemistry. Helsinki: Fapet.
- Al-Rudainy, B. 2020. Galactoglucomannan recovery from softwood spent sulfite liquor: Challenges, process design and techno-economic evaluations. Lund University. Chemical engineering. Väitöskirja. PDF-dokumentti. Saatavissa: portal.research.lu.se [viitattu 16.9.2022].
- Gong, X., Wang, C., Zhang, L & Qu, H. 2012. Solubility of xylose, mannose, maltose monohydrate, and trehalose dihydrate in ethanol–water solutions. *Journal of Chemical & Engineering Data* 57 (11), 3264–3269. Verkkolehti. Saatavissa: <https://doi.org/10.1021/jc300885g> [viitattu 16.9.2022].
- Naidu, D. S., Hlangothi, S. P. & John, M. J. 2018. Bio-based products from xylan: A review. *Carbohydrate Polymers* 179, 28–41. Verkkolehti. Saatavissa: <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2017.09.064> [viitattu 16.9.2022].
- NREL/TP-510-42618. 2012. Determination of structural carbohydrates and lignin in biomass.
- Pihkala, J. 2011. Prosessitekniikka: Prosessiteollisuuden yksikkö- ja tuotantoprosessit. Helsinki: Opetushallitus.
- Sjöström, E. & Janson, J. 1977. Hemiselluloosat. Teoksessa Jensen, W. (toim.) Suomen Paperi-insinöörien Yhdistyksen oppi- ja käsikirja. 1, Puukemia. 2. painos. Helsinki: Suomen paperi-insinöörien yhdistys.
- Yoon, S., Macewan, K. & van Heiningen, A. 2008. Hot-water pre-extraction from loblolly pine (*Pinus taeda*) in an integrated forest products biorefinery. *Tappi Journal* 7 (6) 27–31. Verkkolehti. Saatavissa: www.researchgate.net/ [viitattu 16.9.2022].

BIOMASS-TO-METHANOL (BTM) VIA GASIFICATION

Irina Turku

This study was provided in the framework of the *Soihtukaasujen ympäristötehokas hyödyntäminen - SOIHTU* (1/8/2020–31/7/2022) at Fibre Laboratory, Savonlinna, South-Finland University of Applied Science (XAMK). Combining low-carbon footprint technologies with sustainable electricity sources was one of the subjects of the SOIHTU project. This work examines the production of syngas, an intermediate product of methanol synthesis, by a gasification process, where biomass and waste from different sources were used as raw materials.

INTRODUCTION

Methanol is one of the critical chemicals used as a building block for synthesising other chemicals and products, including plastics, paints, solvents and additives, among many others (Anon a). Methanol can also be used as an alternative transportation fuel, neat or blended with traditional gasoline; for example, M85 is 85% methanol and 15% gasoline. This capability is important because the transport sector is responsible for more than 25% of the greenhouse gas (GHG) emissions in EU countries. Using methanol as fuel will significantly reduce CO₂ emissions by up to 95% and reduce or eliminate the emission of hazardous NO_x and SO_x gases as well as particulate matter (Anon b).

Currently, the main substrate for methanol production is methane-rich natural gas. However, climate change, the unsustainable situation with traditional fossil fuels and the continuously growing demand for methanol have increased the interest in the production of methanol by renewable means. Using renewable sources of carbon from biomass, urban waste and sewage, and atmospheric CO₂ as well as sustainable electricity sources via power-to-X processes could create a CO₂-neutral cycle for fuel production. The environmental approaches for methanol synthesis are shown in Figure 1.

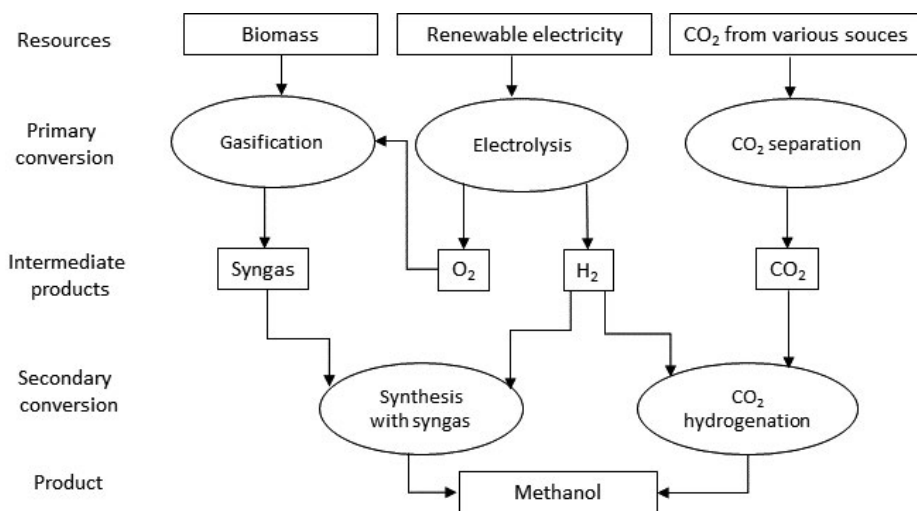
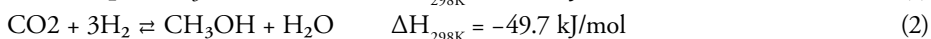
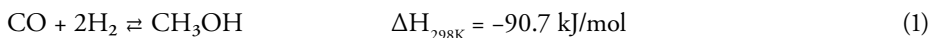


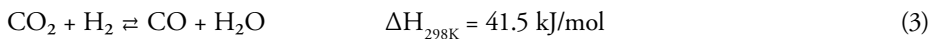
FIGURE 1. Environmental approaches for methanol synthesis (Adapted from: Galindo Cifre & Badr 2007).

METHANOL PRODUCTION ROUTES

The main technology of methanol synthesis is a high-temperature and high-pressure catalytic reaction of synthetic gas, a mixture of CO, H₂ and CO₂, which is produced via steam reforming natural gas. Carbon monoxide and dioxide react with hydrogen to produce methanol and water as by-products, as shown in Eqs. 1 and 2 (Spath & Dayton 2003).



Another approach to syngas/methanol synthesis is converting CO₂ to CO and water, which is known as the reverse water–gas shift (rWGS) reaction, as shown in Eq. 3.

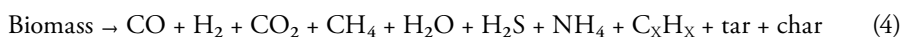


All of these reactions have an exothermic character. Thus, one challenge associated with commercial methanol synthesis is removing the large excess heat of the reaction to keep the thermodynamic parameters in balance.

SYNGAS FROM BIOMASS BY MEAN GASIFICATION

Syngas can be produced from biomass by *gasification*, which is a thermochemical process. Biomass comprises a wide range of materials, including energy crops such as switchgrass and miscanthus, agricultural sources such as corn husks, wood pellets as well as yard, lumber and timber waste. Thus, the gasification of 1 kg of wood waste produces approx. 2.5 m³ of syngas. In addition, municipal solid waste and construction and demolishing (C&D) also can be used as feedstock for syngas production.

Typically, syngas processed from biomass consists of a mixture of CO, H₂, CO₂ and CH₄ (primary components) as well as H₂O, H₂S, NH₃, tar and other traces (secondary components). A simplified biomass gasification reaction is shown in Eq. 4.



The exact quality of the syngas, as well as the end products, depends on the feedstock characteristics, operating conditions (i.e. gasification agent or oxidant, gasifier temperature and pressure, type of bed materials), gasification technology and its ability to remove harmful by-products (AlNouss et al. 2020, Molino et al. 2018).

In the gasification process, different oxidants or gasifying agents are employed. The oxidants can be air, pure O₂, steam or CO₂, or mixtures thereof are used (Puig-Arnavat et al. 2010). The gasifying agent used in biomass gasification directly influences the quality of the produced gas (i.e. H₂, CO, CO₂, CH₄, tar content) and product distribution (i.e. gas, char and tar yields) (Gil et al. 1999). Air is inexpensive, but using it as the oxidant produces gas with high N₂ content. Using steam in biomass gasification promotes the water–gas shift (WGS) reaction and results in H₂-enriched gas with high tar and char contents (Barisano et al. 2016, Puig-Arnavat et al. 2010). Pure oxygen increases the heating value of the syngas but also increases the operating costs due to the cost of producing O₂. Using CO₂ as the gasifying agent is a promising option because of its presence in syngas (Puig-Arnavat et al. 2010).

GASIFICATION TECHNOLOGIES

Over time, various types of reactors suitable for the thermochemical gasification process of biomass have been developed. The reactors can be categorised according to their working principles:

- fixed beds (sometimes referred to as “moving beds”): updraft, downdraft, cross-draft
- fluidised beds: bubbling, circulating, dual
- entrained-flow reactors.

The gasifier types and working principles are shown schematically in Figure 2. The main characteristics and operation parameters of the gasifiers are listed in Table 1 (Siedlecki et al. 2011). Depending on the reactor type, different qualities of syngas can be produced. Thus, updraft (counter-flow) fixed-bed reactors can be characterised by hydrocarbon fuel gas containing large amounts of tar, 10 to 20 wt%. Such gas requires substantial cleaning for further processing (Couto et al. 2013). The working principle of downdraught (co-counter-flow) gasifiers allows the management of this problem. The produced gas is removed at the bottom of the apparatus so that the fuel and gas move in the same direction. This technology is characterised by low tar-containing but high ash-containing outlet gas (Couto et al. 2013).

Fluidised bed, circulating (CFB) and bubbling (BFB) gasifiers are also characterised by low tar content, $< 1\text{--}3 \text{ g/Nm}^3$. Among other advantages, they produce a uniform gas and can utilise a wide range of feedstock particle sizes (Couto et al. 2013). An entrained-flow gasifier (EF) produces tar-free gas but operates at high temperatures and requires fine particles of the feed substrate. Table 1 summarises data about the quality of gas produced by different types of reactors. However, a discrepancy in the published results in different research papers has been discussed by Couto et al. (2013).

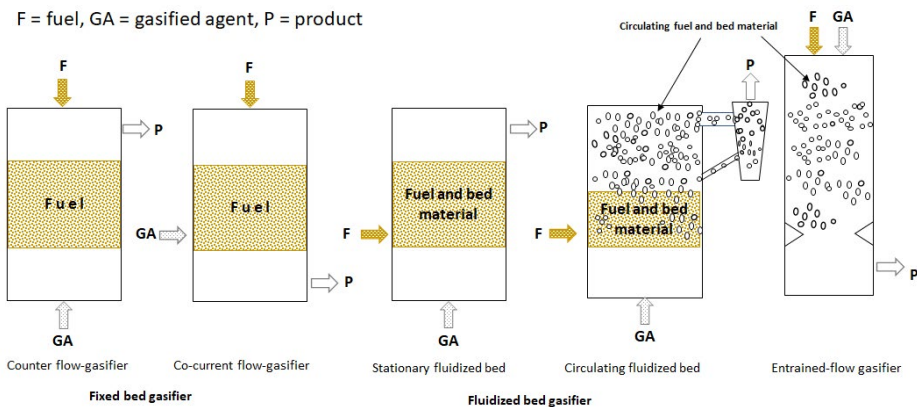


FIGURE 2. Types and working principles of gasifiers (Adapted from: Hrbek et al. 2021).

TABLE 1. Working characteristics of gasifiers (Siedlecki et al. 2011).

| | Fixed Bed | | BFB | CFB | EF |
|---|---------------|-----------|----------------------------|----------------------------|---------------------|
| | Downdraft | Updraft | | | |
| Process temperature (°C) | 700–1200 | 700–900 | <900 | <900 | 1300–1500 |
| Oxidant | air | air | air, steam, O ₂ | air, steam, O ₂ | air |
| Feedstock size | very critical | critical | less critical | less critical | very fine particles |
| Tar yield | low | very high | intermediate | intermediate | none |
| Carbon conversion | 93–96% | near 100% | >90% | >90% | 100 % |
| Scale (MW_{th}) | <5 | <20 | 10-100 | >20 | >100 |
| Thermal Throughput (MW m⁻²) | 1–2 | 1–2 | 1.2–1.6 | 5–7 | |
| Investment | low | low | moderate | high | high |
| Control | easy | very easy | intermediate | intermediate | very complex |

As mentioned hereinabove, the syngas quality also depends on the biomass chemical composition. Contaminants in biomass, such as sulfur, nitrogen, chlorine and ash, will transfer into the syngas during gasification, appearing in different compounds. Thus, the nitrogen in biomass is converted to ammonia (NH₃), hydrogen cyanide (HCN) and nitrogen oxides (NO, NO₂, N₂O, NOX and N₂, where NH₃ is the most abundant). Sulfur in the biomass is converted to hydrogen sulfide (H₂S), carbonyl sulfide (COS) and carbon disulfide (CS₂); H₂S is dominant (Abdoulmoumine et al. 2015). The presence of other chemicals, such as hydrogen chloride (HCl) and the alkali metals Na and K, are also reported for wood and herbaceous biomass, respectively. These contaminants affect the gasification parameters and further processing of the syngas. The cleaning requirement of syngas for methanol production allows the presence of particulate matter in amounts <0.02 mg/m³, tars <0.1 mg/m³, sulfur <1 mg/m³, nitrogen <0.1 mg/m³ and halides <0.1 mg/m³ (Woolcock & Brown 2013).

Several purification technologies for raw synthesis gas cleaning are in use. Some methods, such as wet scrubbing, can remove several contaminants in a single process, while others focus on removing one contaminant (Woolcock & Brown 2013). Cleanup technologies are classified by the temperature used: hot gas cleanup (HGC), cold gas cleanup (CGC) and warm gas cleanup (WGC). Cold gas cleanup typically occurs at ambient temperature, whereas HGC occurs at conditions from 400°C to >1300°C (Woolcock & Brown 2013). Hot processes generally involve catalytic routes for converting contaminants, while cold processes

often use techniques for separating species from the gas (Frilund et al. 2021). In addition, the plasma purification process has also been reported. After purification, the syngas is conditioned and compressed before it is fed into a methanol synthesis reactor. Methanol synthesis is a catalytic reaction where $\text{Cu/Zn/Al}_2\text{O}_3$ is the most commonly used catalyst.

Figure 4 shows a schematic diagram for methanol production where the biomass gasification is integrated into the flowsheet process (AlNouss et al. 2020). Briefly, the main stream of the pretreated biomass feedstock is separated from ash and fed into an oxygen or steam gasifier. The gasifier effluent gas, rich in H_2 and CO , goes through a WGS reaction to adjust the CO_2 and H_2 content in the syngas. After purification and conditioning, the syngas enters the methanol converter, where it is converted into methanol and water according to the reactions in Eqs. 1 and 2. The produced methanol is considered crude and needs to pass through a distillation column to remove gases and water.

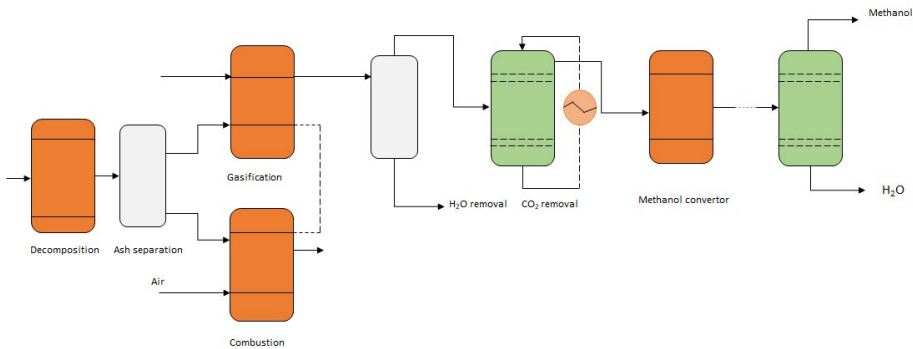


FIGURE 4. Diagram of the integrated production routes of biomass gasification and the downstream application system (Adapted from: AlNouss et al. 2020).

Along with lignocellulosic biomass, other sources, such as sewage sludge, urban waste, rejected plastics and paper, and other organic materials, can be used as feedstock for the gasifier process to synthesise syngas and methanol (AlNouss et al. 2020, Anon c). One example of a commercialised project using waste gasification is OMNI200™ GPRS™, where unsorted solid waste is used to produce syngas and electricity. The schematic structure of the plant is shown in Figure 5. The capacity of the plant is 200 tons of solid waste per day (67,000 tons per year). The waste is gasified in a fixed-bed updraft reactor, whereas plasma is used to refine the syngas. Plasma catalysis is extremely efficient at breaking down tars and hazardous compounds, removing 99.95% of tars at a temperature 300°C lower than required without plasma (Anon c). Plasma catalysis is highly effective in removing tars and hazardous compounds from gas flow, it removes 99.95% of tar at around 300°C.

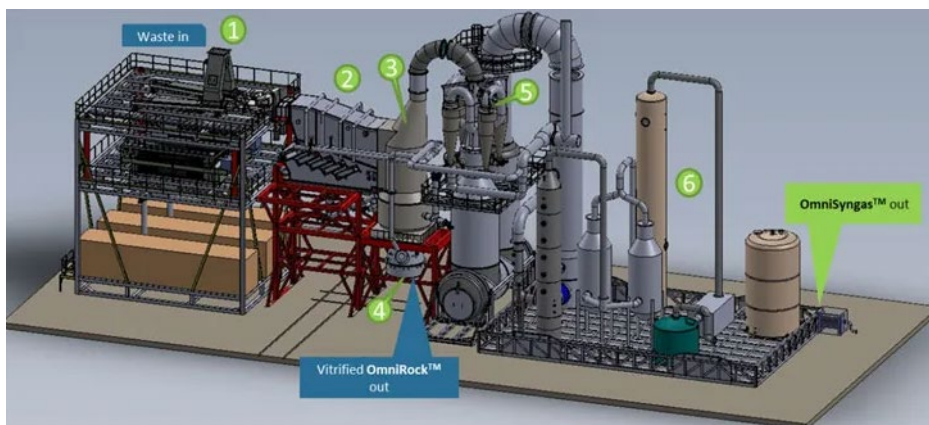


FIGURE 5. OMNI200™ GPRSTM unit: 1. Proprietary feeder airlock, 2. Horizontal moving grate gasifier, 3. Vertical fixed-bed updraft gasifier, 4. Solid material recovery vessel, 5. Syngas plasma-refining chamber, 6. Gas cooling and conditioning to end use (Anon c).

CONCLUSION

Interest in sustainable, carbon-neutral technology in different production areas, including energy and fuel, is growing rapidly. Biomass gasification is an alternative method of producing syngas, which is an intermediate for many products, including fuel. Biomass gasification is an alternative technology to produce methanol with a lowered or zero-carbon footprint and is one way to de-fossilise the fuel sector. In addition, processing methanol from waste solves the problem of municipal and agricultural waste. However, the main obstacle to applying this solution is the wide variability of available biomasses as substrates and the varying levels of contaminants that must be removed to achieve a high-quality final product.

REFERENCES

- Anon a: Innovation outlook. Renewable methanol. IRENA 2021, [irena.org](https://www.irena.org) (28/9/2022).
- Anon b: www.ict.fraunhofer.de/en/press_media/press_releases/2022/2022-07-14.html (28/09/2022)
- Anon c: globalsyngas.org/syngas-technology/syngas-production/waste-to-energy-gasification/plasma-gasification/ (29.03.2022)
- Abdoulmoumine, N., Adhikari, A., Kulkarni, A., & Chattanathan, S. (2015). A review on biomass gasification syngas cleanup. *Applied Energy*, 155, 294–307.
- AlNouss, A., McKay, G., & Al-Ansari, T. (2020). A comparison of steam and oxygen fed biomass gasification through a techno-economic-environmental study. *Energy Conservation and Management*, 208, 112612.
- Couto, N., Rouboa, A., Silva, V., Monteiro, E., & Bouziane, K. (2013). Influence of the biomass gasification processes on the final composition of syngas. *Energy Procedia*, 36, 596–606.
- Frilund, C., Tuomi, S., Kurkela, E., & Simmel, P. (2021). Small- to medium-scale deep syngas purification: Biomass-to-liquids multi-contaminant removal demonstration. *Biomass and Bioenergy*, 148, 106031.
- Galindo Cifre, P., & Badr, O. (2007). Renewable hydrogen utilisation for the production of methanol. *Energy Conversion & Management*, 48, 519–527.
- Gil, J., Corella, J., Aznar, M. P., & Carabello, M. A. (1999). Biomass gasification in atmospheric and bubbling fluidized bed: Effect of the type of gasifying agent on the product distribution. *Biomass and Bioenergy*, 17, 389–403.
- Hrbek, J., Pfeifer, C., Barisano, D., Vreugdenhil, B., Lundgren, J., Rauch, R., Korovesi, X., & Cattizone, E. (2021). *Gasification applications in existing infrastructures for production of sustainable value-added products*. IEA Bioenergy Task 33.
- Molino, A., Larocca, V., Chianese, S., & Musmarra, D. (2018). Biofuels Production by Biomass Gasification: A Review. *Energies*, 11, 811–842.
- Puig-Arnau, M., Bruno, J.C., & Coronas, A. (2010). Review and analysis of biomass gasification models. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14, 2841–2851.

Siedlecki, M., Jong, W., & Verkooijen, A. H. M. (2011). Fluidized Bed Gasification as a Mature And Reliable Technology for the Production of Bio-Syngas and Applied in the Production of Liquid Transportation Fuels—A Review. *Energies* 4, 389–434.

Spath, P. L., & Dayton, D. C. (2003) *Preliminary Screening — Technical and Economic Assessment of Synthesis Gas to Fuels and Chemicals with Emphasis on the Potential for Biomass-Derived Syngas*. National Renewable Energy Laboratory.

Woolcock, P. J., & Brown, R. C. (2013). A review of cleaning technologies for biomass-derived syngas. *Biomass and Bioenergy*, 52, 54–84.

XAMK MUKANA KANSAINVÄLISESSÄ HANKKEESSA RATKOMASSA TEKSTIILIJÄTTEEN HYÖTYKÄYTÖN HAASTEITA

Noora Haatanen & Juhana Pakkasmaa

Xamk on mukana laajassa eurooppalaisessa tekstiilien kierrätystä ja tekstiilijätteen hyötykäyttöä edistävässä hankkeessa. New Cotton (Demonstration of New Cotton like circular fiber for textiles in consumerfacing launches) -hankkeen avulla haetaan ratkaisua tekstiilijätteen käsittelylle kahdentoista urauurtavan partnerin yhteistyöllä. Hankkeessa demonstroitava kiertotalousmalli tarjoaa vaihtoehdon neitseellisestä kuidusta, kuten puuvillasta, riippuvaiselle tekstiiliteollisuudelle. Tavoitteena on uudelleen käyttää tekstiilijäte ja muokata siitä kierrätyskuitua, joka voidaan käyttää ja kierrättää aina uudelleen ja uudelleen. Kakkois-Suomen ammattikorkeakoulusta hankkeessa mukana on Savonlinnan tutkimusyksikkö Kuitulaboratorio, joka keskittyy erityisesti tekstiilijätteen kemiallisen esikäsittelyvaiheen kehitykseen. Hankkeen kesto on 2.10.2020–30.9.2023. New Cotton -hanke on saanut rahoitusta Euroopan unionin Horisontti 2020 -tutkimus ja -innovaatio-ohjelmasta (GA Nro. 101000559).

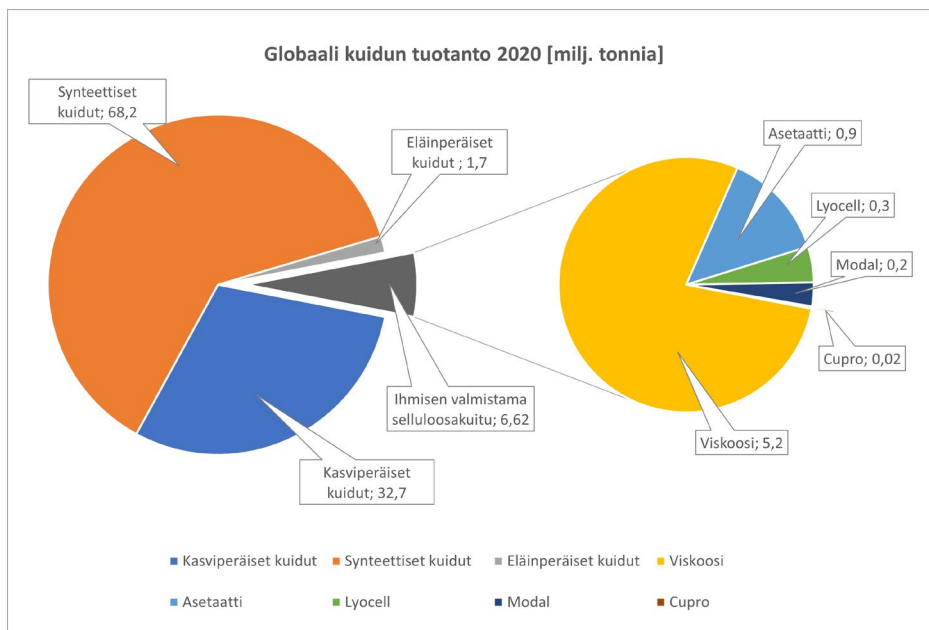
JOHDANTO

Tekstiiliteollisuus ja muotia-ala ovat suuren murroksen keskellä, ja siinä myös kuluttajilla on iso rooli. Tekstiiliteollisuuden ja pikamuodin ympäristövaikutuksista keskusteltaessa äänensävyt ovat muuttuneet valtavasti. Vaatteita valmistetaan tällä hetkellä lähes kaksi kertaa enemmän kuin 20 vuotta sitten, ja sen ympäristövaikutukset ovat huomattavat. Maailmanlaajuisesti tekstiiliteollisuuden osuus kasvihuonekaasupäästöistä on jopa kahdeksan prosenttia. Tämä on enemmän kuin kansainväliset lennot ja merenkulku yhteensä. Samaan aikaan roska-autokuormaa vastaava määrä vaatteita poltetaan tai haudataan kaatopaikalle joka sekunti. Vain noin yksi prosentti vaatteista päättyy uudelleen käytettäväksi tekstiileinä. (Ellen MacArthur Foundation 2017, UN Alliance for Sustainable Fashion.) Luvut ovat huolestuttavia, ja aiheeseen on herätty jo useilla eri rintamilla. Tilanteen korjaamiseksi muutoksia tuleekin tehdä koko ketjussa:

- tekstiilien valmistusprosesseissa: mm. veden ja kemikaalien käyttö
- tekstiilien kulutustottumuksissa: uudenlaisia toimintamalleja tekstiilien elinkaaren pidentämiseksi

- tekstiilien kierrätyksessä: kuitujen saamiseksi takaisin kiertoon uudestaan ja uudestaan (Ellen MacArthur Foundation 2017).

Tutkimusta kuitujen uudelleen kierrättämiseksi ja uudestaan käytettäväksi tehdään jatkuvasti enenevässä määrin. Kuidun tuotanto on kaksinkertaistunut viimeisen 20 vuoden aikana, ja vuonna 2020 globaali kuidun tuotanto oli 109 miljoonaa tonnia vuodessa. Tästä arviolta noin kuusi prosenttia on niin sanottua ihmisen valmistamaa selluloosakuitua (manmade cellulosic fibers, MMCF), joka sisältää kaupallisia tuotenimikkeitä, kuten Viskoosi, Lyocell, Modal ja Cupro (kuva 1). Näistä suurin osa valmistetaan kuitenkin neitseellisestä kuidusta. Arviolta vain noin 0,4 prosenttia kaikesta MMCF:stä valmistetaan niin sanotusta kierrätyskuidusta. Osuuden ennustetaan kuitenkin kasvavan huomattavasti lähivuosina käynnissä olevan laajan tutkimus- ja tuotekehitystoiminnan edistämänä. (Textile Exchange 2021)



KUVA 1. Globaali kuidun tuotanto vuonna 2020 (kuva Noora Haatanen, mukailien Textile Exchange 2021).

Tekstiilikiertotalous on noussut yhdeksi tutkimusaiheeksi myös Kakkoi-Suomen ammattikorkeakoulun tutkimusyksiköissä (Xamk Vaikuttavuusartikkeli 2022). Kuitulaboratorio on mukana hankkeessa, jonka tavoitteena on uudelleen käyttää kuluttajatekstiilijätettä ja muokata siitä kierrätyskuitua, joka voidaan käyttää ja kierrättää yhä uudelleen ja uudelleen.

NEW COTTON -HANKE

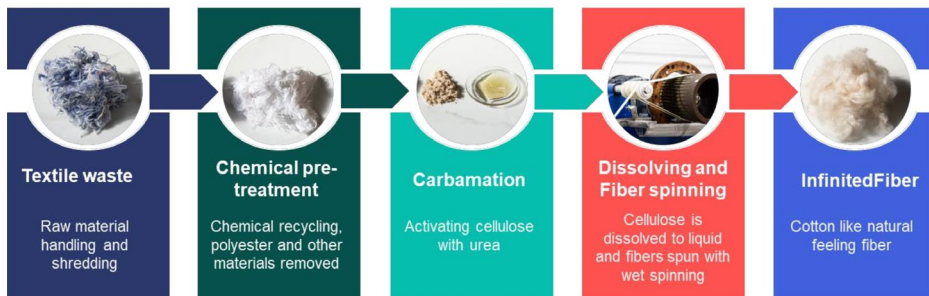
New Cotton on kolmivuotinen hanke, jossa kerätään, lajitellaan ja regeneroidaan tekstiilijätettä ja valmistetaan siitä ainutlaatuista selluloosapohjaista tekstiilikuitua hyödyntäen suomalaisen Infinited Fiber Companyn (IFC) kaupallistamaa menetelmää. Kuiduista valmistetaan erilaisia kankaita, joista vaatebrändit H&M ja adidas valmistavat lopulta vaatteita kuluttajamarkkinoille. (New Cotton lehdistötiedote 2020)



KUVA 2. New Cotton -konsortio koostuu kahdestatoista yrityksestä ja organisaatiosta (kuva Fashion For Good).

Konsortio koostuu kahdestatoista yrityksestä ja organisaatiosta ja kattaa koko tuotantoketjun vaiheet sekä elinkaaren tarkastelun. Konsortiota johtaa Infinited Fibre Company, jonka patentoitua teknologiaa hankkeessa hyödynnetään selluloosapitoisen tekstiilijätteen regeneroimiseksi kierrätyskuiduiksi. Tuotenimeä Infinna™ käyttävän regeneroidun kuidun tekstuuri ja ulkonäkö vastaavat puuvillaa. Tekstiilivalmistajat Inovafil (Portugali), Tekstina (Slovenia) ja Kipas (Turkki) käyttävät regeneroituja kuituja lankojen, kudottujen kankaiden ja denimin valmistukseen. Adidas (Saksa)- ja H&M (Ruotsi) -konserniin kuuluvat yritykset suunnittelevat, valmistavat ja myyvät kankaista valmistettuja vaatteita. Lisäksi adidas kerää hankkeen aikana asiakaspalautetta ja kehitysideoita sekä kehittää tekstiilien takaisinotto-ohjelman saattaakseen palautetut vaatteet takaisin kiertoon. (New Cotton -lehdistötiedote 2020)

Prosessin alkuvaiheessa Frankenhuis (Alankomaat) lajittelee ja esikäsittelee mekaanisesti hankkeessa käytettävän tekstiilijätteen eli kierrätystekstiilin, minkä jälkeen Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu (Xamk) jatkaa kuitujen esikäsitteilyä kemiallisesti (Kuva 3). RE-volve Waste (Alankomaat) kerää ja hallinnoi kierrätystekstiiliä koskevia tietoja arvioidakseen raaka-aineen saatavuutta Euroopassa ja määrittääkseen käytetyn kierrätystekstiilin laadun. Ruotsalainen tutkimuslaitos RISE vastaa hankkeen kestävästä kehityksestä ja teknistaloudellisen analyysin tekemisestä yhdessä Infinited Fibre Companyn kanssa sekä hallinnoi hankkeen kankaiden ja vaatteiden ympäristömerkintöjä. Aalto-yliopisto analysoi luotua ekosysteemiä ja kiertoliiketoimintamalleja laajemmin hankkeen toteuttamiskelpoisimman liiketoimintamallin kehittämiseksi. Kestävästä muodin innovaatioalusta Fashion for Good (Alankomaat) tukee sidosryhmien yhteistyötä ja järjestää koulutusta sekä ohjaa projektiviestintää, brändäystä ja tulosten levitystä Aalto-yliopiston ja Infinited Fiber Companyn tuella. (New Cotton -lehdistötiedote 2020)



KUVA 3. New Cotton -hankkeen prosessin vaiheet. Lopputuotteen, kuvassa InfinitedFiber, tuotenimi on Infinna™ (kuva IFC).

TEKSTIILIN KIERRÄTTÄMINEN

Yksinkertaistettuna tekstiilin kierrättäminen tarkoittaa tekstiilijätteen keräämistä ja sen prosessoimista eli tekstiilin sisältämien kuitujen erottelemista ja lopulta tekstiilikuitujen palauttamista takaisin uusien tuotteiden raaka-aineeksi. Riippuen uudelleenkäyttökohteesta voidaan puhua joko kuidun arvoa laskevasta tai nostavasta käsittelystä. Jo tällä hetkellä tekstiilijätettä kierrätetään muun muassa rievuiksi, mopeiksi, tyynyjen täytteeksi tai eristeeksi eli niin sanotun alemman jalostusarvon tuotteiksi, mutta niiden elinkaari päättyy usein tähän. Sen sijaan tekstiilijätteen kierrätys muun muassa uusiksi tekstiileiksi ja vaateollisuuden materiaaleiksi säilyttää tai nostaa lopputuotteen arvoa, ja tuote voidaan usein palauttaa kiertoon yhä uudelleen ja näin korvata neitseellistä kuitua pidemmällä aikavälillä. (Soumyadeep 2020a)

Tekstiilikuitua voidaan kierrättää joko mekaanisesti tai kemiallisesti. Mekaaninen kierrätys hyödyntää tekstiilikuidun muuttamatta sen perusrakennetta. Puuvillaisen tekstiilijätteen

mekaaninen kierrätys alkaa lajittelulla, jossa kankaat lajitellaan kuitusekoitteen ja värin mukaan. Ihannetapauksessa kankaan tulisi kuitenkin koostua vain yhdenlaisesta kuidusta. Tämä jälkeen kangas leikataan ja silputaan ja sitten puretaan kuiduiksi. Ennen kehruuta kierrätyskuidut käsitellään karstausprosessilla. Kierrätyspuuvillakuituun lisätään kehräysvaiheessa yleensä neitsytpuuvillaa tai polyesteria laadun parantamiseksi, koska mekaaninen käsittely lyhentää kuidun pituutta ja täten heikentää sitä. (Soumyadeep 2020b)

Kemiallinen kierrätys, toisin sanoen depolymerointi, perustuu erilaisiin peräkkäisiin kemiallisiin prosesseihin, joiden avulla tekstiilijäte kierrätetään takaisin niin sanotuiksi perusrakennuspalikoiksi eli monomeereiksi. Monet teollisuudenalat, mukaan lukien vaateteollisuus, käyttävät näitä monomeerejä uusien materiaalien luomiseen. Kemiallisesti kierrätetyt tuotteet ovat useimmiten laadultaan samanlaatuista kuin neitseelliset vastineet, mikä tarkoittaa, että suorituskyky ei heikkene kierrätysprosessin myötä. (Soumyadeep 2020c) Kemiallinen kierrätys koostuu erilaisista esikäsitteily-, liuotus-, regenerointi- ja kehruvaiheista (kuva 3). Kemialliset kierrätysratkaisut ovat yhä suosittumia, koska ne pystyvät käsittelemään jossain määrin myös monimutkaisia kuitusekoitteita ja säilyttämään tai parantamaan alkuperäisen kuidun arvoa. (Rosson 2020)



KUVA 3. Kemiallisesti kierrätetyn tekstiilin vaiheita. Kuvassa vasemmalta oikealle on kuvattu mekaanisesti esikäsiteltyä kierrätyskuitua, kemiallisesti esikäsiteltyä kierrätyskuitua, kemiallisesti käsiteltyä (karbamoitua) selluloosaa, liuotettua selluloosaa ja lopuksi regeneroitua kehrättyä kierrätystekstiilikuitua (kuva IFC).

New Cotton -hankkeen valmistusprosessi perustuu kemialliseen kierrätykseen. Kemiallisen kierrätyksen kannalta esikäsitteilyvaiheella on suuri merkitys, sillä epäpuhtaudet vaikuttavat jatko-prosessien kemikaalien toimintaan. Tekstiilikuidun esikäsitteily voi sisältää prosessivaiheita, kuten pesu, kuidun rakenteen avaus ja erotus sekä epäpuhtauksien, kuten

sekoitekuitujen ja värien, poistaminen. (Soumyadeep 2020c.) Kuitulaboratorion osuus hankkeessa liittyy juuri tähän kemialliseen esikäsittelyyn ja on koko prosessin toiminnan kannalta hyvin kriittinen.

TULOKSET

Kuitulaboratorion vastuulla olevan kemiallisen esikäsittelyn tavoitteena on poistaa mekaanisesti esikäsitellystä eli lajitellusta ja hienonnetusta raaka-aineesta epäpuhtaudet sekä valmistella jäljelle jäänyt selluloosakuitu liuotusta ja regenerointia varten. Prosessi koostuu useammasta kemikaalisesta käsittelystä (happo- ja emäsvaiheesta) sekä erillisistä pesuvaiheista. Prosessin ajoparametrien sekä skaalan vuoksi Kuitulaboratorion laitteistoon tehtiin hankkeen aluksi mittavia muutoksia. Laitteisto saatiin täydessä kapasiteetissaan käyttöön vasta keväällä 2022. Kuitulaboratorio käsitteli päivitetyllä laitteistollaan kesään 2022 mennessä yhteensä 5 000 tonnia (ka.) syötettä eli mekaanisesti esikäsiteltyä tekstiilijätettä, joka tämän jälkeen lähetettiin IFC:lle regeneroitavaksi.

Hanke on saavuttanut sen puolivälin, ja toimenpiteet etenevät vauhdikkaasti. Konsortio on onnistuneesti saanut toteutettua koko arvoketjun tekstiilijätteen lajitellusta ja käsittelystä aina lopullisiksi vaatteiden näytekappaleiksi, jotka tuodaan markkinoille syksyllä 2022. (New Cotton -lehdistötiedote 2022)

Hankkeen aikana on tunnistettu useita haasteita ja mahdollisuuksia. Kuitujen lajittelun ja kierrätyksen suunnittelun osalta merkittävimmät havainnot liittyvät muun muassa kuitujen tunnistustekniikan rajoituksiin ja yhtenäisen lajittelutavan puuttumiseen. Myös tiukemmat tekstiilituotteiden kuitukoostumusta koskevat raportointivaatimukset auttavat arvioimaan markkinoilla olevien materiaalien kierrätettävyyttä luotettavammin. Kuitujen uudelleenkäytön osalta on ensiarvoisen tärkeää, että kierrätettävyyttä huomioidaan jo tuotteen suunnitteluvaiheessa välttämällä muun muassa kuituseoksia, elastaanin käyttöä sekä useista eri tekstiilikerroksista koostuvia materiaaleja. Lisäksi loppukäyttäjien tietoisuuteen sekä asenteisiin on pyrittävä vaikuttamaan vielä voimakkaammin. (New Cotton -lehdistötiedote 2022)

JATKOSUUNNITELMAT

New Cotton -hankkeen siirtyessä toiselle puoliskolle konsortio keskittyy edelleen datan keräykseen ja analysointiin, jotta alan ja erityisesti tekstiilikiertotalouden kannalta olennaisia havaintoja voidaan tuoda esiin. Adidas ja H&M julkaisevat syksyllä/talvella 2022 hankkeen tuottamista kierrätyskuiduista valmistetut vaatteet. Myös kiertotalouden liiketoimintamallin ja ekosysteemin rakentaminen sekä prosessin linkaariarvion ja konseptin kehittäminen jatkuvat. (New Cotton lehdistötiedote 2022)

LÄHTEET

Ellen MacArthur Foundation, 2017. A new textiles economy: redesigning fashion's future. Saatavissa: https://www.circularonline.co.uk/wp-content/uploads/2017/11/A-New-Textiles-Economy_Full-Report.pdf [viitattu 19.8.2022]

New Cotton -lehdistötiedote, 2020. New Cotton project launch!. Saatavissa: https://newcottonproject.eu/news_article/new-cotton-project-launch/ [viitattu 19.8.2022]

New Cotton -lehdistötiedote, 2022. New Cotton midway press release. Saatavissa: <https://newcottonproject.eu/wp-content/uploads/2022/07/New-Cotton-Project-%E2%80%94-Midway-Press-Release.pdf> [viitattu 15.8.2022]

Rosson, L. 2020. Comparative Gate-to-Gate Life Cycle Assessment for the Alkali and Acid Pre-Treatment Step in the Chemical Recycling of Waste Cotton. Sustainability 10/20202. Saatavissa: [\(PDF\) Comparative Gate-to-Gate Life Cycle Assessment for the Alkali and Acid Pre-Treatment Step in the Chemical Recycling of Waste Cotton \(researchgate.net\)](#) [viitattu 20.9.2022]

Soumyadeep, S. 2020a. Textile Recycling – What It Is and the Need of Textile Recycling. Online Clothing Study. Saatavissa: [Textile Recycling: The Mechanical Recycling of Textiles Wastes \(onlineclothingstudy.com\)](#) [viitattu 20.9.2022]

Soumyadeep, S. 2020b. Textile Recycling: The Mechanical Recycling of Textiles Wastes. Saatavissa: [Textile Recycling: The Mechanical Recycling of Textiles Wastes \(onlineclothingstudy.com\)](#) [viitattu 20.9.2022]

Soumyadeep, S. 2020c. Textile Recycling: The Chemical Recycling Process of Textiles. Online Clothing Study. Saatavissa: [Textile Recycling: The Chemical Recycling Process of Textiles \(onlineclothingstudy.com\)](#) [viitattu 20.9.2022]

Textile Exchange, 2021. Preferred Fiber & Materials Market Report 2021. Saatavissa: https://textileexchange.org/wp-content/uploads/2021/08/Textile-Exchange_PREFERRED-Fiber-and-Materials-Market-Report_2021.pdf [viitattu 19.8]

Xamk Vaikuttavuusartikkeli, 2022. Tekstiilikiertotalouden osaaminen tuo alueelle elinvoimaa. Saatavissa: [Tekstiilikiertotalous | Ympäristö ja vastuullisuus | Xamk TKI](#) [viitattu 15.8.2022]

UN Alliance for Sustainable Fashion. The Clothing and Textile Industry Today... Saatavissa: <https://unfashionalliance.org/> [viitattu 19.8.2022]

MONINAISTA VIESTINTÄÄ LAAJASSA KV-HANKKEESSA

Juha-Pekka Ontronen

Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu (Xamk) vastaa IMPRESS-hankkeen viestinnästä ja tulosten levittämisestä. Hankkeen koordinaattorina toimii Avantium (Alankomaat). Projektikonsortion muodostavat Xamkin ja Avantiumin lisäksi Sulzer (Sveitsi), KNAUER (Saksa), CNRS (Ranska), Lenntech (Alankomaat), Vogelbusch (Itävalta), PDC (Alankomaat), Sphera (Saksa) ja Aalto-yliopisto. Hankkeessa kehitetään uudenlainen biojalostamokonsepti, jolla ruoantuotantoon kelpaamattomasta kasvipohjaisesta raaka-aineesta tuotetaan uusiutuvia materiaaleja ja kemikaaleja. IMPRESS - Integration of efficient downstream PProcessEs for Sugars and Sugar alcohols -hanke on saanut rahoitusta Euroopan unionin Horisontti 2020 -tutkimus- ja innovaatio-ohjelmasta rahoitussopimuksen No 869993 mukaisesti. Hankkeen kesto on 1.9.2019–29.2.2024.

JOHDANTO

IMPRESS-hankkeessa on kymmenen eri toimijaa, joten yhteinen ilme ja ulosanti on tärkeää. Hanketta varten on luotu oma brändi-identiteetti ja visuaalinen ilme, jota sovelletaan kaikessa viestinnässä, jotta lopputulos näyttää ja kuulostaa yhtenäiseltä. Hyvin suunniteltuna ilme taipuu eri tilanteisiin: kuvista esitteisiin, videoihin ja tapahtumamateriaaleihin sekä tarvittaessa vaikka teippauksiin. Yhtenäinen ilme kaikessa viestinnässä auttaa luomaan tunnistettavan ja uskottavan vaikutelman toimijasta, olipa kyseessä sitten yritys tai hanke.

Lisäksi hankkeissa on pyrittävä viestimään mahdollisimman selkeästi välttäen jargonia. Tätä varten hankkeen alkuvaiheessa luotiin viestintä- ja levittämissuunnitelma (communication and dissemination plan). Suunnitelmaan on koottu hankkeen viestinnän tavoitteet ja strategia, kohderyhmät ja viestit, äänensävy, ohjeistukset projektin visuaalisesta ilmeestä, väreistä, typografiasta ja EU-rahoituksen mainitsemisesta sekä viestintämateriaalipohjien käytöstä. Lisäksi suunnitelmassa käydään läpi oleelliset viestintäkanavat ja -toimet tarkoituksineen ja potentiaaliset viestintään liittyvät haasteet. Ulkoisen viestinnän lisäksi Xamk huolehtii hankkeen sisäisestä viestinnästä varmistaen ajantasaisen tiedonkulun.

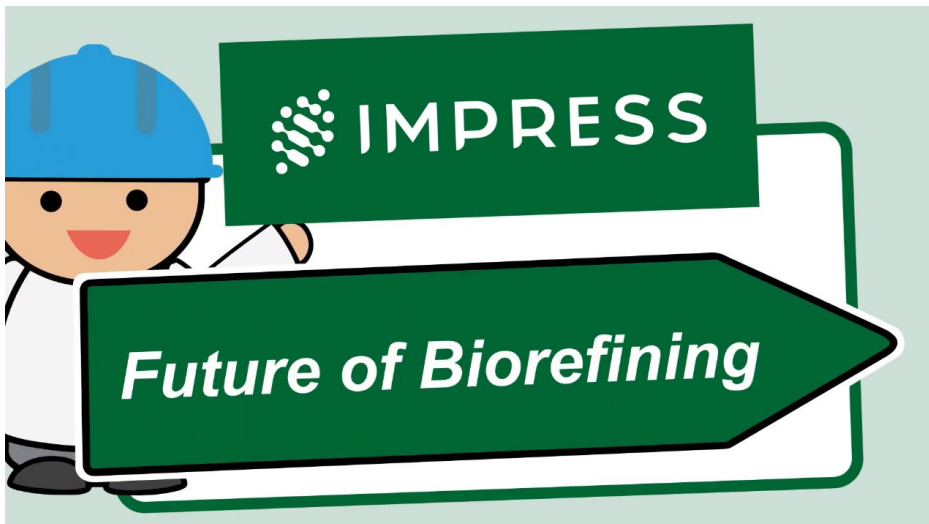
Viestinnän toimivuuden ja vaikuttavuuden arviointia varten on luotu mittarit, joita seurataan hankkeen edetessä ja joiden perusteella voidaan tehdä tarvittavia korjauksia. Viestintä- ja levittämissuunnitelmaa päivitetään hankkeen edetessä tarpeiden ja uusien mahdollisuuksien mukaan. Suunnitelmallisuuden lisäksi IMPRESS-hankkeessa on alusta lähtien haluttu

pitää viestinnässä hallittavuus, ketteryys ja mahdollisuus reagoida muutoksiin nopeasti. Tästä johtuen suurin osa hankkeen viestinnästä tehdään luovalla in-house-tiimillä.

Oleellisimmat viestintäkanavat IMPRESS-hankkeessa ovat hankkeen viralliset verkkosivut, sosiaalinen media, videot, koulutuslusta, esitteet, julkaisut, tiedotteet ja tapahtumat. Koulutuslusta tarkoittaa IMPRESS-hankkeen tapauksessa 15 opintopisteen verkko-opiskelukokonaisuutta The Future of Biorefining, jonka Xamk tuottaa yhteistyössä hankkeen eri toimijoiden kanssa. Opintokokonaisuuden rakentamisesta on jo aiemmin tehty julkaisu (Jordan 2021), joten tässä artikkelissa keskitytään hankkeessa tuotettaviin videoihin. Hankeviestinnässä kannattaa hyödyntää visuaalisuutta, sillä aivot vastaanottavat suurimman osan tiedoista näköaistin kautta (Hermiö ym. 2021, 96). Saavutettavuuden varmistamiseksi videoiden sisältämä tieto tulee kuitenkin tarjota myös tekstimuodossa (Aluehallintovirasto 2022).

VIDEOTUOTANNON ERINOMAISET MAHDOLLISUUDET

Videotyyppejä on paljon erilaisia, kuten livestriimaukset, opetusvideot, näytellyt videot sekä animaatiot. IMPRESS-hankkeessa tuotetaan monenlaisia videoita yleisvideosta webinaarivideoihin ja hankkeessa käytettäviä teknologioita selittäviin animaatiovideoihin (kuva 1). Webinaarivideoista muodostuu neljän videon sarja. Ensimmäinen osa, nimeltään *IMPRESS - Revolutionising the Chemical Industry for a Fossil Free Future?*, perehdyttää katsojat IMPRESS-hankkeeseen, sen tavoitteisiin ja toimijoihin. Toinen osa, *New high value plant-based products from IMPRESS*, käsittelee hankkeessa käytettäviä teknologioita. Kolmas ja neljäs osa puolestaan tutustuttavat katsojat elinkaarimallinnuksen (Life Cycle Assessment, LCA) ja käsitteellisen mallintamisen prosessiin (Conceptual Process Design, CPD) alan asiantuntijoiden johdolla.

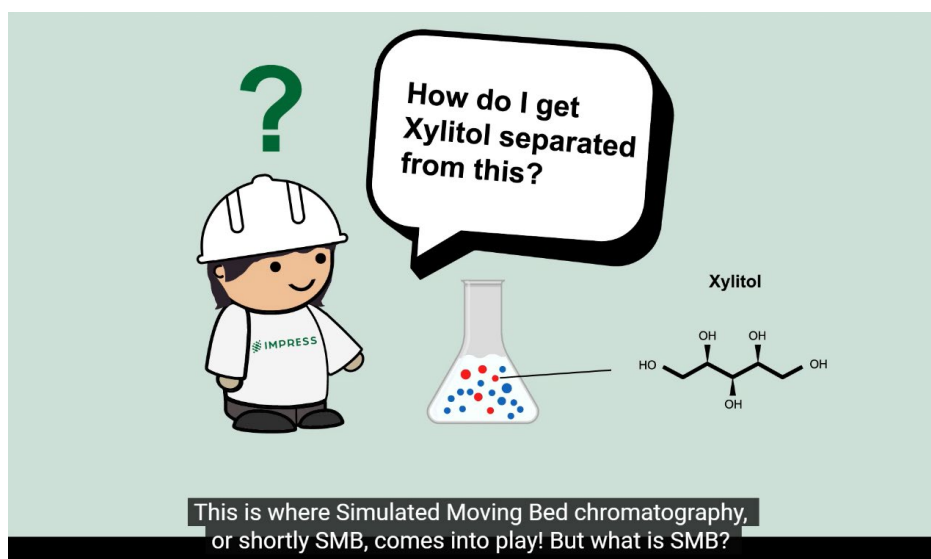


KUVA 1. Kuvakaappaus IMPRESS-projektivideon alusta (kuva Juha-Pekka Ontronen).

IMPRESS on laaja, monikansallinen eurooppalainen hanke, jossa ovat mukana alansa johtavat yritykset ja tutkimuslaitokset. Uraauurtavaan tutkimukseen liittyy myös luottamuksellista tietoa liikesalaisuuksien ja mahdollisten immateriaalioikeuksien (IPR) säilyttämisen vuoksi, joten kaikkea tietoa ei voida julkaista. Tästä syystä kaikki levitettävä viestintämateriaali kiertää hyväksyttävänä projektikonsortion kautta. Hankkeen webinaarivideot esimerkiksi ovat etukäteen suunniteltuja ja nauhoitettuja. Tällä varmistetaan, että sisältö on julkista tietoa eikä luottamuksellista tietoa pääse leviämään.

Animaatiovideot puolestaan ovat erinomainen tapa viestiä ja tehdä monimutkaisistakin asioista helposti ymmärrettäviä. Animaatiot ovat värikäs ja hauska tyyli kertoa tarina mukaansatempaavalla tavalla, jossa hahmot selittävät asian yksinkertaisiksi osiksi pilkottuna. Lisäksi animaatiot ovat kätevä tapa tiivistää ja avata asioita lyhyessä ajassa.

Hyvien etujensa johdosta hankkeessa on päätetty hyödyntää juuri animaatiovideoita mahdollisimman paljon. Haasteelliseltakin tuntuvat asiat, kuten simuloitu liikkuva peti -prosessi, saadaan kerrottua siten, että ne jäävät paremmin mieleen (kuva 2).



KUVA 2. Kuvakaappaus IMPRESS-hankkeessa käytettävää simuloitu liikkuva peti -prosessia selittävästä videosta (kuva Juha-Pekka Ontronen).

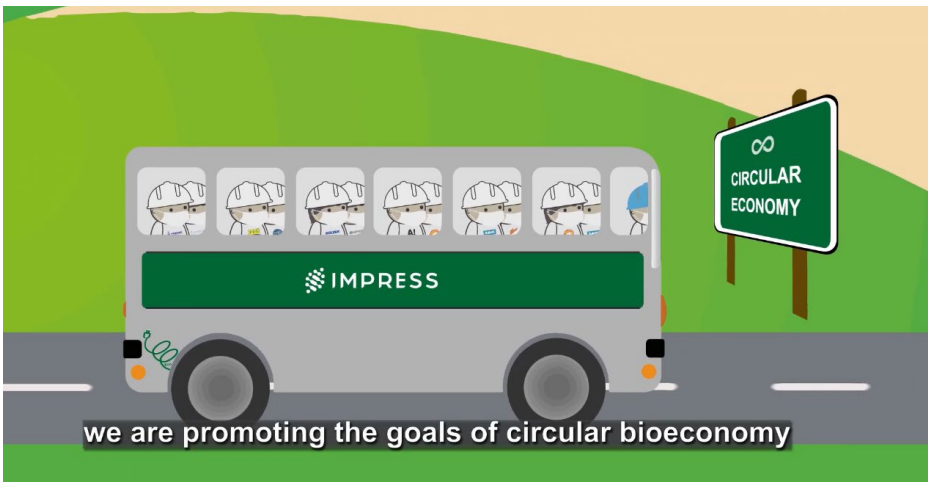
VIDEOTUOTANTOPROSESSIN TOTEUTUS

Videotuotannot käynnistyvät aiheesta riippuen yhteistyössä joko yhden tai useamman hankkeen toimijan kanssa. Mikäli kyseessä on esimerkiksi hankkeessa käytettävää teknologiaa avaava video, prosessi alkaa suunnittelulla kyseisen teknologian asiantuntijoiden kanssa.

Yleisesti ottaen animaatioiden videotuotantoprosessi voidaan jakaa kahdeksaan eri vaiheeseen:

- Ideointi
- Tarina (script writing)
- Kuvitus (storyboarding)
- Animointi (animatic)
- Animointiprosessi
- Voice-over ja ääni
- Esikatselu, palaute ja parannukset
- Renderöinti valmiiksi videoksi.

Ensimmäisessä vaiheessa, ideoinnissa, kerätään kyseisen teknologian asiantuntevilta hanketoimijoilta ideoita käsikirjoitukseen ja mietitään, mitä videolla tapahtuu ja mitä halutaan kertoa, sekä aletaan luonnostelemaan ensimmäistä vedosta käsikirjoituksesta. Toisessa vaiheessa varsinainen tarina hioutuu muotoonsa muutaman eri luonnoksen myötä. Kolmannessa vaiheessa ideoista tehdään digitaalisia kuvia ja grafiikkaa. Jokainen kohta piirretään yksinkertaisesti, jolloin saadaan käsitys tulevasta videosta ja sen päätapahtumista. Animoinnissa puolestaan kuvia aletaan herättämään eloon. Valmiit vektorigrafikat eri tasoinen tuodaan editointiohjelmaan, jolloin varsinainen animaatiovideo alkaa hahmottua animoituna kuvasuunnitelmana. Animointiprosessissa luodaan kaikki tarvittavat liikkeet ja ajoitukset joka ruudulle, että lopputulos on toivotunlainen ja saadaan liikkeen vaikutelma (kuva 3).



KUVA 3. IMPRESS-projektin esittelyvideo, kuva valmiista kohtauksesta (kuva Juha-Pekka Ontronen).

Videosta riippuen videolle tarvitaan mahdollisesti niin sanottu voice-over-ääni eli kertojaääni. Kun videon käsikirjoitus on saatu valmiiksi, voidaan järjestää nauhoitukset ääninäyttelijälle, joka kertoo videon tarinan. Tämä kertojaääni sitten tuodaan editointiohjelmaan, jossa se leikataan eri otoista yhdeksi toimivaksi kokonaisuudeksi yhdessä animaatiokuvituksen kanssa. Lisäksi videoon yhdistetään ja leikataan sopivat musiikit ja muut tarvittavat äänet.

Esikatseluvaiheessa video hyväksytetään sisältöön liittyvillä kumppaneilla ja kerätään palaute sekä mahdolliset parannusehdotukset. Viimeisessä vaiheessa tehdään vielä tarvittavat muutokset, minkä jälkeen videon animaatioliikkeet ja efektit renderöidään valmiiksi videoksi haluttuun tiedostomuotoon.

VIDEON LEVITYS

IMPRESS-hankkeessa niin animaatio- kuin webinaarisarjan videoiden levityksessä on hyödynnetty Xamkin virallista YouTube-kanavaa, josta videoita on linkitetty hankkeen kotisivuille ja jaettu eteenpäin. Olemassa olevia, valmiiksi suuren tilaajamäärän omaavia tilejä kannattaa hyödyntää, sillä seuraajien saaminen uusille tileille voi olla hankalaa. YouTube valittiin alustaksi videoiden levitykseen näkyvyytensä vuoksi, sillä YouTubessa katsotaan yli neljä miljoonaa videota minuutissa (Hermiö ym. 2021, 79–80).

Levitysvaiheessa videot myös tekstitetään, mikä mahdollistaa saavutettavuuden. Videoita katsellaan yhä enemmän ilman ääniä, ja tekstitys tavoittaa kuulo- ja näkövammaisten lisäksi ihmiset eri tilanteissa, joissa ääniä ei esimerkiksi taustahälinän vuoksi kuule tai pysty käyttämään (Aluehallintovirasto 2022).

YHTEENVETO

Hankeviestintä tukee hankkeen onnistumista. IMPRESS-hankkeessa Xamkin rooli on huolehtia sisäisestä ja ulkoisesta viestinnästä. Riittävän yksinkertaisesti sanottuna asiat menevät perille paremmin ja saavuttavat suuren yleisön. Hyvin suunniteltu viestintä ja tiedon levitys edesauttavat toimintaa.

Animaatiovideot ovat ensiluokkainen ja innostava tapa kertoa asiat yksinkertaisesti ja saavutettavasti. Videotuotantoprosessi ja yleensäkin tuloksekas viestintä vaativat kuitenkin aikaa, rahaa ja resursseja, minkä vuoksi animaatioiden hyödynnettävyys on arvioitava tapauskohtaisesti. Laaja ja merkittävä kv-hanke IMPRESS haluaa tehdä todellisen vaikutuksen niin teknologisesti kuin viestinnällisesti, minkä vuoksi myös animaatiot on valittu yhdeksi viestintäkeinoksi.

LÄHTEET

Aluehallintovirasto 2022. Videoiden ja äänilähetysten saavutettavuus. [Verkkoaineisto] [Viitattu 23.9.2022]. Saatavissa: <https://www.saavutettavuusvaatimukset.fi/digipalvelulain-vaatimukset/videoiden-ja-aanilahetysten-saavutettavuus/#videot-parantavat-saavutettavuutta>

Hermiö, A., Merimaa, M., Wallin, R., Wegmüller, M. & Åman Kyyrö, M. (toim.) 2021. Hankeviestinnän käsikirja. Metropolia Ammattikorkeakoulun julkaisuja. OIVA-sarja 42. Saatavissa: <https://urn.fi/URN:ISBN:978-952-328-313-8>

Jordan, K. 2021. Lessons learned – Verkko-oppimateriaalin tuottamisen kehittämisprosessi. Teoksessa: Hanne Soininen, Noora Haatanen & Lasse Pulkkinen (toim.): Metsä, ympäristö ja energia. Soveltavaa tutkimusta ja tuotekehitystä. Vuosijulkaisu 2021. Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu. Xamk Kehittää 183, 353-360. Saatavissa: <https://urn.fi/URN:ISBN:978-952-344-408-9>

CIRCULAR AND LOW CARBON CONSTRUCTION AND INSULATION MATERIALS – A REVIEW

Ramjee Subramanian

The construction industry is a significant sector that contributes to the economic growth of a nation and has a profound economic, social and environmental impact. Presently, this industry and buildings are one of the primary consumers of energy, a significant user of non-renewable resources and produce significant greenhouse gas emissions. In Finland alone, the construction industry consumes roughly 60–70 million tons of rock material annually. Recycled materials suitable for construction are used in almost the same quantities.

To overcome the environmental challenges in this industry, there is a significant push to create a sustainable, circular and low carbon construction approach. This approach is composed of regenerative design and energy-efficient & energy-plus construction. It is underpinned by recyclable, renewable and high performance insulation materials.

This literature review gives a snapshot of materials' historical development, today's insulation construction materials market scenario and the future of renewable bio-based novel materials research and development for a transformative circular construction industry.

This work is part of the CIRCON project, Competences and Materials for Low-Carbon and Circular-Economy based Construction, which is being implemented between 1/11/2021 and 31/10/2024.

HISTORICAL DEVELOPMENT OF THERMAL INSULATION MATERIALS

Historically, pre-historic people built temporary dwellings from the same materials that they used for clothing. The most common materials were animal skins, fur, wool and plant related products like reed, flax or straw, but their lifespan was limited. Later, because of the settled lifestyle and the development of agriculture, they needed more durable materials for housing, like stone, wood and earth. During beginning of the 19th century, the techniques of planning and construction had developed, using new building materials, such as cast-iron, glass, concrete and steel. The next phase of materials' evolution happened in the second half

of the 19th century with the introduction of fossil based plastic insulation materials due to the industrial revolution as shown in Table 1.

Today, the largest market potential for the insulation materials in building applications is dominated by those materials which offer the best performance per unit cost, such as mineral (stone and glass), wool and plastic (polymeric) foams like polystyrene and polyurethane. The global market size of thermal insulation materials for building applications was estimated to be about USD 23 billion in 2015 with a project annual growth rate of 4.5 CAGR reaching USD 39 billion by 2027.

Plastic foams, like all organic materials, show excellent insulation properties. They constitute about 42% in 2015 and it is estimated to show growth of 46% by 2025 (Pavel 2018). The thermal insulation market in the last decade (2010–2020) in Europe is illustrated in the following figure (Fig. 1).

TABLE 1. The historical development of thermal insulation materials (modified version adapted from David 2010)

| Period of Time | Causes of Change | Changes | Insulation Materials |
|-------------------|--|--|--|
| 2.5 m – 700 BC | Nomadic lifestyle | materials for clothing | animal skins, fur, wool |
| 7000 BC – 1870 AD | Settled life-style | durable materials, vegetable fibres | earth, wood, bricks, straw, eelgrass, reed |
| 1870–1950 | Industrial revolution calculations about heat loss | first natural insulating products | reed, cork, wood wool and flax plates, cellulose insulation |
| | | development of bricklaying elements | ash filled bricks, hollow bricks, Autoclaved aerated concrete (AAC) |
| | | final products of artificial insulation materials | asbestos, rock wool, fibre glass, foam glass, dross, expanded clay, and perlite |
| 1950–2000 | spread of plastics | spread of artificial materials appearance of plastic foams nearly disappearance of natural materials | polystyrene, polyurethane, polyester, polyethylene, phenolic, formaldehyde, and melamine foam |
| 2000– | Carbon dioxide (CO ₂) emission exhausting fossil fuels, climate change, global warming and circularity | revival of the natural materials experiment with new materials recycling | cellulose insulation, cork, straw bale, wood wool, sheep wool transparent thermal insulation, switchable thermal insulation, nano-cellular insulation, vacuum insulation panels recycling of wood waste, construction waste and other recyclable bio-materials |

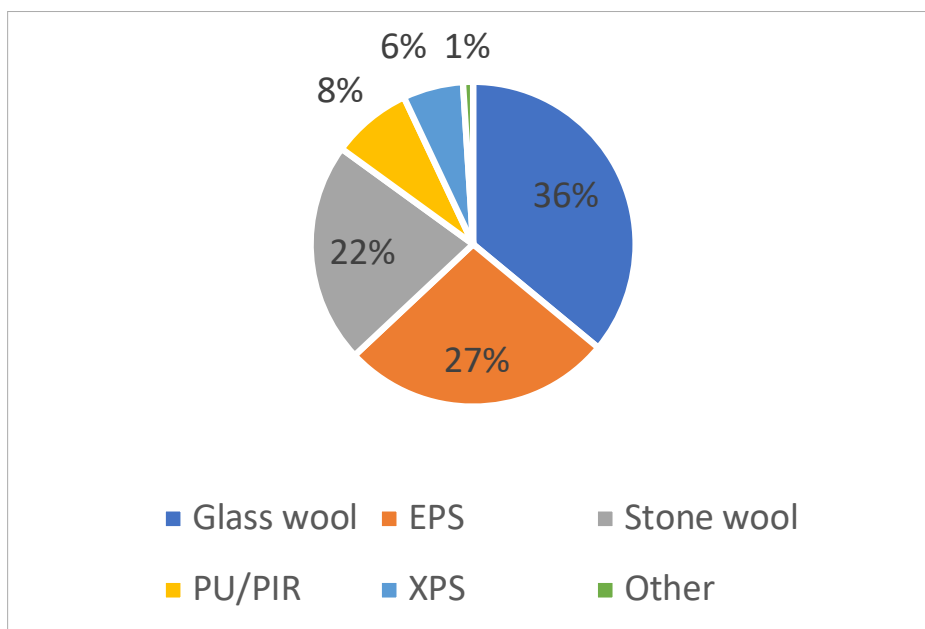


FIGURE 1. Thermal insulation market in Europe in 2015, by Volume (JRC representation, adapted from IAL 2015) – EPS: Expanded Polystyrene; XPS: Extruded Polystyrene; PU/PIR: Polyurethane/Polyisocyanurate (adapted from Pavel 2018)

FRAMEWORK AND CHARACTERISTICS FOR THE SELECTION OF BUILDING MATERIALS

Sustainable development and circular economic activity (CE) demand that we have a framework for the selection of building insulation materials based on Energy, Environment, Economic and Comfort criteria as illustrated in Fig. 2. To assess CE, different tools have been proposed and applied, most prominently material flow analysis (MFA) and life cycle assessment (LCA). Additional methods include an economic and environmental combination of the LCA with waste and energy scenarios (Wiprächtiger 2020).

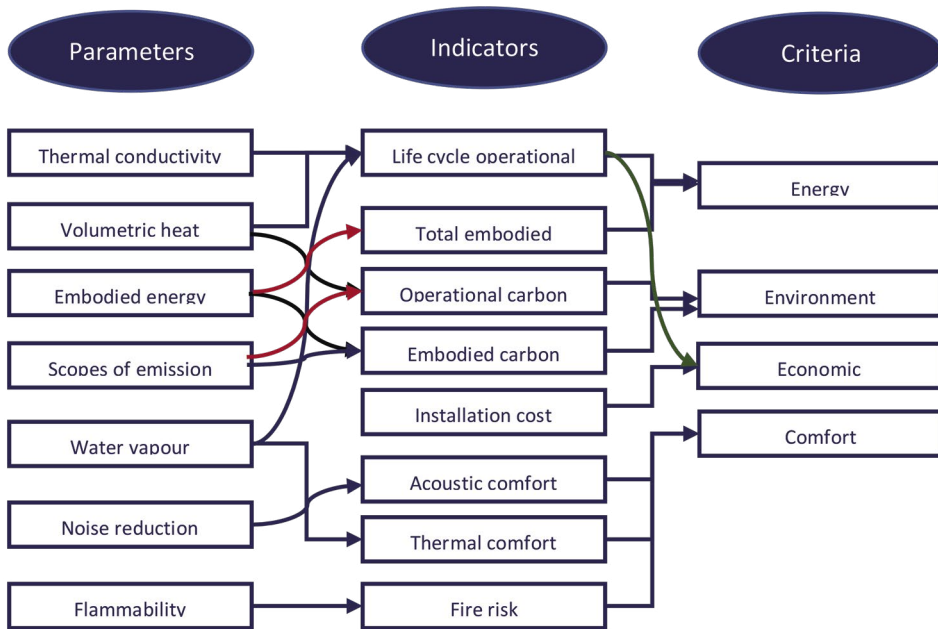


FIGURE 2. Framework to select optimum building insulation materials (adapted from Wiprächtiger 2020)

A broad list of commercial insulation materials used in construction, illustrated in Fig. 3, can be covered under three areas and their material properties have been characterised for dynamic thermal performance and environmental characteristics (Schiavoni 2016, Grazieschi 2021).

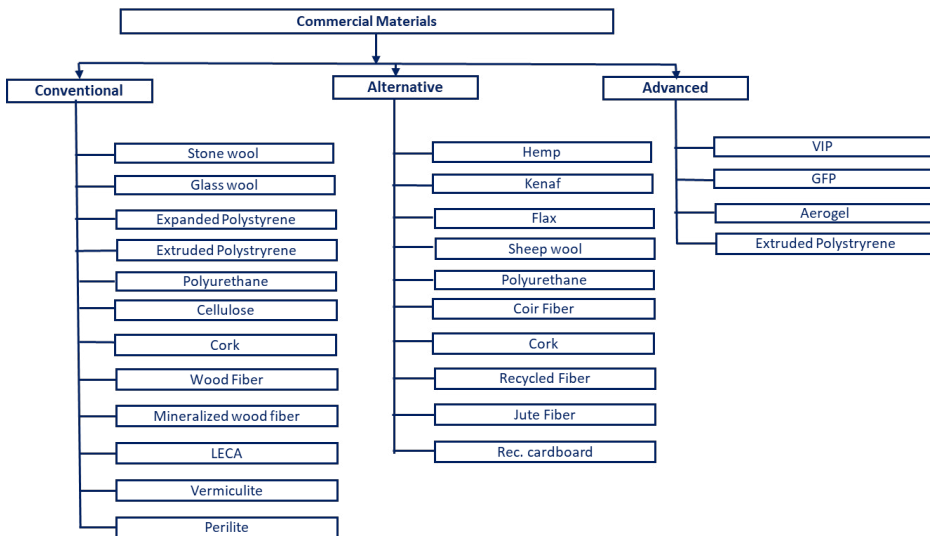


FIGURE 3. List of commercial insulation materials categorisation for thermal and environmental analysis (adapted from Schiavoni 2016, Grazieschi 2021)

SPECIFIC HEAT AND THERMAL CONDUCTIVITY

The study (Schiavoni 2016, Grazieschi 2021) shows that, based on the state-of-the-art insulation materials comparison, the most promising materials are aerogels, Gas filled panels (GFPs) and Vacuum insulation panels (VIPs) in terms of low thermal conductivity (respectively 0.013, 0.010 and 0.004 W/m K). The highest values of the specific heat were observed for jute fibres (2.3 kJ/kg K), wood and mineralised wood fibres (up to 2.1 KJ/kg K), hemp, kenaf, sheep wool and XPS (up to 1.7 kJ/kg K). Minimum and maximum conductivity of some insulation materials is shown below in Fig. 4 (Venkatraman 2016).

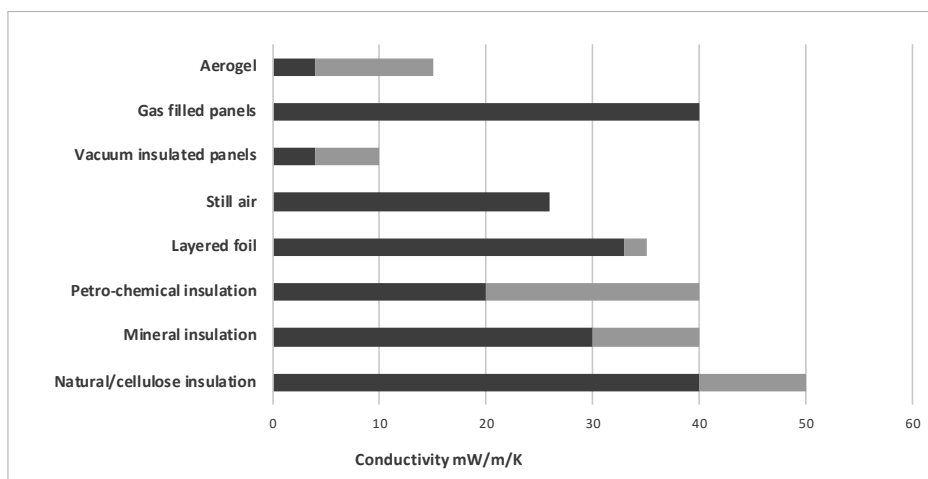


FIGURE 4. Minimum and maximum conductivity of some insulation materials (Adapted from Venkatraman 2016)

PORE SIZE DISTRIBUTION

The variation in effective thermal conductivity is dependent on pore size in natural fibre-based composites and cement building materials. Hence, porosity is a main parameter in insulation materials. Its presence is inherent to the materials and manufacturing processes. Fig. 5 shows the thermal conductivity of air and pore size relationship over varied pressure range. It demonstrates that the smaller pores are the most insulating. Fibre reinforced composites have unimodal distribution of pores at around 30–60 μm , and the modelling data shows that the thermal conductivity is in the range of 0.01 to 0.16 ($\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\text{K}^{-1}$) (Dujardin 2020). Novel homogeneous materials, named NANOCON, have been introduced based on pore size to nano scales with an overall thermal conductivity of less than 4 mW/(mK) with crucial construction properties good or better than concrete (Jelle 2010).

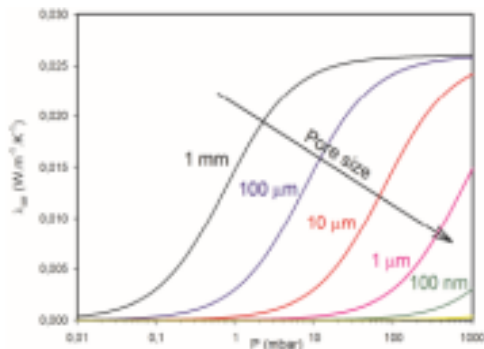


FIGURE 5. Thermal conductivity of air as a function of pressure for different pore sizes (at 300 K) (Jelle 2010)

REACTION TO FIRE

Best performance on insulators fire resistance was achieved for mineral wools, expanded minerals and VIPs. Insulators containing organic materials such as polystyrene (EPS, XPS), Polyurethane (PUR), cork, wood and hemp fibres, flax and reeds are generally characterised by low reaction to fire performance. Exceptions are represented by modified cellulosic materials. Studies show that the PIR (Polyisocyanurate) materials are the ones generating the most toxic gases under fire conditions.

ENVIRONMENTAL PERFORMANCE

Taking into consideration cradle to gate approach on the carbon impact on global warming, cork (378 MJ/f.u.) and XPS (13,22 CO₂_{eq}/f.u.) were the worst performers while natural materials, such as pumice (1.82MJ/f.u. and 0.08CO₂_{eq}/f.u.) and cellulose (19-21MJ/f.u. and 0.7–3.7CO₂_{eq}/f.u.), had the best performance in terms of embodied energy and global warming potential. The environmental properties vary depending on various issues, such as typology (blown/expanding/loose material/Panel, etc.), manufacturing methods and technologies, energy mix during manufacturing, percentage of recycled material as well as raw material origin and logistics. The results show that the majority of the natural materials and some artificial/recycled products show good environmental properties.

TABLE 2. Insulating Materials (adapted from Lakmal 2022)

| Material | Thermal Conductivity (W/mK) | Thickness Required for U=0.13 W/(m ² K) m |
|---|-----------------------------|--|
| reinforced concrete | 2.3 | 17.30 |
| solid brick | 0.80 | 6.02 |
| perforated brick | 0.40 | 3.01 |
| softwood | 0.13 | 0.98 |
| porous brick, porous concrete | 0.11 | 0.83 |
| | | |
| <i>Straw</i> | <i>0.055</i> | <i>0.41</i> |
| <i>Typical insulation material</i> | <i>0.040</i> | <i>0.30</i> |
| <i>high – quality conventional insulation material</i> | <i>0.025</i> | <i>0.19</i> |
| <i>Nanoporous super-insulating material normal pressure</i> | <i>0.015</i> | <i>0.11</i> |
| <i>Vacuum insulation material (Silica)</i> | <i>0.008</i> | <i>0.06</i> |
| <i>Vacuum insulation material (high vacuum)</i> | <i>0.002</i> | <i>0.015</i> |

PASSIVE HOUSING

With the advent of environmental economics and the circular economy, the current trend in the design and construction of low energy buildings are focused on the use of renewable eco-friendly biobased or recycled materials, due to low density, good thermal properties, low cost and renewable nature of these materials. For example, exterior timber frame wall structures with wood fibre, wool, pipe and paper used as insulation materials are proved to have good thermal performance, eco-friendliness and are recommended for passive housing (Tab. 2). Passive houses heating energy demand shall not exceed 15 kWh/m²/year of net living space (or) 10 W/m² at peak demand, total energy to be utilised for domestic applications shall not exceed 60 kWh/m²/year, air tightness (maximum 9.6 air changes/hour at 50 Pascal Pressure and thermal comfort (no more than 10% of the hours in a given year over 25°C).

The state of the art in the research and development on bio-based and wood-based insulation materials for the circular economy will be enumerated next.

WOOD BASED FIBRE INSULATION MATERIALS

Wood is a natural resource and a material that can be easily shaped with relatively simple tools. It is gaining new traction as insulation materials due to modification, better processing, aesthetics and shaping technologies. Synthetic composites are also increasing in use with the production of wood-based composites using thermoset resins and coatings to control flammability. Design based biomimicry and guided growth of trees for the generation of custom structural and non-structural studies reveal remarkable discoveries and architectural insights from the direct studies of structure – function investigation in biological systems (Bechthold 2017).

CELLULOSIC FIBRES

A review on the properties of cellulosic fibres insulation, elucidates that there are two main ways of applying cellulosic fibres (CFI). Depending on the desired properties, CFI can either be installed via the “loose fill” or the “wet spray” method. Although the typical value of CFI thermal conductivity is 0.040 W/mK, its properties and performance can vary slightly depending on manufacturing and method of installation. The thermal conductivity increase directly correlates with the moisture content of cellulosic fibre insulation, formulations with environmentally friendly additives, method of application and shelf life (Pablo 2016).

FUNCTIONALISATION

The functionalisation of wood as bio-based advanced materials (Beims 2022) strategies consists of the chemical decoration of wood's inner and outer structure while bringing novel functionalities. Several thermal-hydro-mechanical and chemical processes have been employed to modify the wood structure to improve its stability, hydrophobicity and durability, among others. Energy efficient buildings are the main target of transparent wood (Li 2019). Furthermore, structural engineering applications have been targeted by two methods: impregnation of polymer in wood and a two-step approach involving the delignification of wood followed by densification. Additional functionalities have been tested for transparent wood, such as thermoregulation and chemical gases detection for application in smart buildings. Chemical functionalisation of wood cells include densification, carbonisation, chemical decoration, resin coating and functional group modification.

WOOD WASTES

Wood waste has been studied for its suitability for use as a thermal insulation material, using precision ISOMET 2114 portable hand-held measuring instrument (Cetiner 2018). The wood waste with different densities had a thermal conductivity of 0.048 to 0.055 W/mK, and they were used without the addition of an extra binder for a timber frame wall

construction. Characterisation of the hygrothermal properties of waste wood (WW) was undertaken with the aim to provide a greater understanding of material performance in timber wall construction. WW measured thermal conductivity value is close to the values of wood fibres, wood chippings and straw bale, and lower than reeds and cereal which are already used as natural insulation materials in the construction market (Fig. 6).

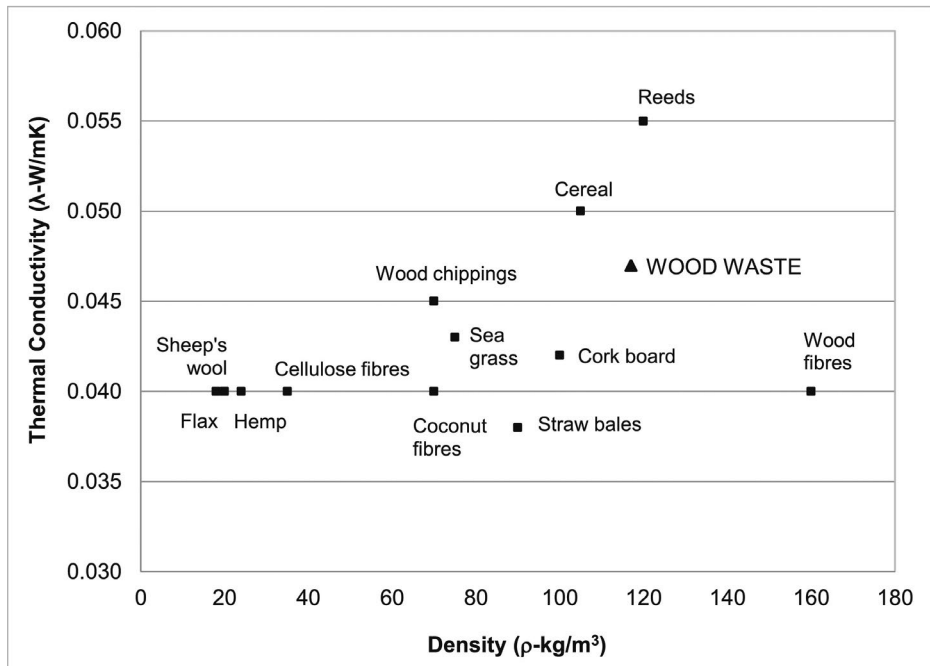


FIGURE 6. Thermal conductivity vs density for different natural insulation materials (Cetiner 2018)

Merli, et al., (Merli 2021) studied eco-sustainable wood waste panels for building applications to evaluate the reuse of pine, oak and mahogany wood waste thermal insulation performance in assembly panels (300 * 300 mm²) fabricated by hand-made and hot-pressed techniques using vinyl and flour glues. The thermal conductivity exhibited by 378 to 488 kg/m³ panel composites varied from 0.071 to 0.084 W/mK at an average temperature of 10°C, depending on the tree species, and the assembly technique. Furthermore, the samples are characterised by good sound absorption and insulation properties tested in the impedance tube. Oak panels, with lower densities, have the best performance (Transmission Loss = 11 dB at 1600 Hz for oak 50-mm sample), which improves with increasing thickness. Life cycle analysis studies, show that the global warming potential data is 5.41 (kgCO₂ eq. /m²) for vinyl glue composites and 3.49 (kgCO₂ eq. /m²) for flour glue composites. Hence, natural glue is preferable in order to reduce the environmental impact of the panels without affecting the thermal performance and by improving the acoustic proofness.

BIO-AEROGELS

Bio-aerogels, based on nanocellulose, starch, pectin, alginate and chitosan, are thermally superinsulating materials with conductivity comparable to that of silica aerogels (Zou 2021). The thermal conductivity of cellulosic and cellulosic based materials ranges from 0.018 to 0.048 (W/(m.K)). Depending on the bio-aerogel density, the compressive modulus varies from hundreds of KPa to Mpa.

When drying polysaccharide gels at ambient pressure or in vacuum, the pores close due to capillary pressure, chain collapse and hydrogen bonding. To avoid pore closing and hornification, the majority of these materials have to be dried using freeze (or) supercritical methods. To obtain bio-based porous materials with thermal conductivity and mechanical properties equivalent to those of bio-aerogels, but while avoiding freeze/supercritical condition, is a challenging task which until now has not been solved. Research options to solve the creating porous gels has been to study surface functionalisation (Ghanadpour 2019) and hydrophobisation (Hasan 2019).

The thermal and insulation characteristics of cellulosic nanofibres nano-wrapped with ultrathin IT phase molybdenum disulfide (MoS_2) nanosheets via chemical crosslinking was elucidated by Yang, et al. (Yang 2017). They produced an aerogel with 97.36% porosity and 0.00473 g/cm³ density. The aero gel exhibited excellent fire resistance with a thermal conductivity of 28.09 mWm⁻¹K⁻¹.

BINDERS

Alginate, which is from seaweed, has been studied as an adhesive binder for wood fibres/textile waste fibres biocomposites. Reference studies were conducted using aldehyde based crosslinking agents for various wood/textile waste ratios (100/0, 50/50, 60/40, 70/30 and 0/100 in weight). They are insulating with a thermal conductivity of 0.078–0.089 W/m/K for an average density in the range of 308–333 kg/m³ according to the biocomposite considered. The thermal conductivity shows a linear relationship with the density of the composite. These composites are semi-rigid according to their mechanical properties: compression strength between 0.40 and 1.41 MPa and a bending strength between 0.2 and 0.54 MPa for wood fibres content from 0% to 100%. Alginate appears to be a potential candidate for the green biopolymer adhesives market (Lacoste 2018).

FOAMS

Compostable, fully biobased foams using Poly Lactic Acid (PLA) and microcellulose (MFC) for zero energy buildings was studied by Oluwabunmi, et al. (Oluwabunmi 2020). The processing was carried out using supercritical carbon dioxide solvent and physical foaming

of melt mixed systems was conducted. The results showed that MFC had a concentration dependent on the foams. The presence of MCF led to an initial increase followed by a decrease of open porosity, higher bulk density, lower expansion ratios and cell size. MFC decreased the glass transition of PLA allowing for a decrease in cell wall thickness when MFC was added. Thermal insulation initially improved with MFC, and it subsequently decreased. Energy simulations which were run on a model house showed that relative to an insulation of polyurethane, the bio-resourced foams led to no more than a 12% increase in heating and cooling. The energy efficiency was best at low MFC fractions.

COMPOSITES

Eco-design and energy efficiency are urgent concepts that express the need to search for new environmentally building solutions which are cost, material and energy efficient. Polymers reinforced with natural fibres have received increasing attention in recent years as environmental challenges become an increasing focused on issue in industrial applications. As an example, a composite based on date fruit dust pit powder (DPP) waste for use as thermal insulator in building applications. DPP-Polystyrene composites showed low thermal conductivity (0.0515–0.0562 W/(m.K) at 25°C) and very low density (457–630 kg/m³). Reinforcement of polyester with various cellulosic fibres (Examples: Banana – Epoxy, date palm fibres – polyester) have been widely reported in composites studies for building applications (Abu-Jdayil 2019).

SUMMARY

This review gives an insight into the development of building insulation materials history, current used materials and state-of-the-art research on bio-based and wood-based insulation materials for futuristic low carbon and the circular economy.

The framework for materials selection in the past has only been dependent on economy and comfort. With the circular economy, the focus on materials selection has grown to encompass energy and the environment. Thus, the key factors of the selection of tomorrow's building thermal insulation materials are: Thermal conductivity, pore size distribution, environmental performance and strength properties comparable to conventional materials.

The state-of-the-art research on wood-based materials for the circular construction economy have been detailed in this review. The focus areas enumerated are the following: Cellulosic fibres, Functionalisation, Wood wastes, Bio-aero gels, Binders, Foams and Composites.

Thus, the enumerated wood-based insulation materials concepts require further application focused studies on commercialisation to achieve low carbon and a circular economy in the construction industry globally.

REFERENCES

- Abu-Jdayil, B. M.-H. 2019. Traditional, state-of-the-art and renewable thermal building insulation materials: An overview. *Construction and Building Materials*, 709–735.
- Bechthold, M. a. 2017. Materials Science and Architecture. *Nature Reviews*, 1–19 (Article Number: 17082).
- Beims, R. A. 2022. Functionalized wood as bio-based advanced materials: Properties, applications, and challenges. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Article number: 112074 (16 p.)
- Cetiner, I. a. 2018. Wood Waste as an alternative thermal insulation for buildings. *Energy and Buildings*, 374–384.
- David, B. 2010. The historical development of thermal insulation materials. *Periodica Polytechnica Architecture*, 49–56.
- Dujardin, N. S. 2020. Measurement of pore size distribution of building materials by thermal method. *Construction and Building Materials*, pp.118417.
- Ghanadpour, M. W. 2019. All-natural and highly flame-resistant freeze-cast foams based on phosphorylated cellulose nanofibrils. *Nanoscale*, 4085–1095.
- Grazieschi, G., A. F. 2021. Embodied energy and carbon of building insulating materials: A critical review. *Cleaner Environmental Systems*, 100032.
- Hasan, M., G. D. 2019. Robust Superhydrophobic Cellulose Nanofiber Aerogel for Multifunctional Environmental Applications. *Polymers*, 495 (14p.).
- Jelle, B. G. 2010. The High Performance Thermal Building Insulation Materials and Solutions of Tomorrow. *Journal of Building Physics*, 99–123.
- Lacoste, C. H. 2018. Sodium alginate adhesives as binders in wood fibers/textile waste fibers biocomposites for building insulation. *Carbohydrate Polymers*, 1–8. Available: <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2017.12.019>.
- Lakmal, P. 2022. *Energy Efficiency Improvements on the Passive House Concept in Wooden House Construction in Sweden*. 2022, July 13. Retrieved from DiVA: Available: <https://www.diva-portal.org/smash/record.jsf?pid=diva2%3A1682443&dswid=3202>

- Li, Y. C. 2019. Optically Transparent Wood Substrate for Perovskite Solar Cells. *Sustainable Chemistry and Engineering*, 6061-6067.
- Merli, F. B. 2021. Eco-Sustainable wood waste panels for building applications: Influence of different species and assembling techniques on thermal, acoustic, and environmental performance. *Buildings*, 361 (17 p.), Available: <https://doi.org/10.3390/buildings11080361>.
- Oluwabunmi, K. D.-Y. 2020. Compostable, fully biobased foams using PLA and micro cellulose for zero energy buildings. *Nature research*, 20 p. Available: <https://doi.org/10.1038/s41598-020-74478-y>.
- Pablo, L. A. 2016. A Review on the properties of cellulose fibre insulation. *Building and Environment*, 170–177.
- Pavel, C. a. 2018. *Competitive landscape of the EU's insulation materials industry for energy-efficient buildings*. Luxembourg: Publications Office of the European Union (ISBN 978-92-79-96383-4).
- Schiavoni, S. A. 2016. Insulation materials for the building sector: A review and comparative analysis. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 988–1011.
- Venkatraman, M. M. 2016. Aerogels for thermal insulation in high performance textiles. *Textile Progress*, 55–118.
- Wiprächtiger, m. M. 2020. A framework for sustainable and circular system design: Development and application on thermal insulation materials. *Resources, Conservation and Recycling*, 104631.
- Yang, L. M. 2017. Ultralight, Highly Thermal Insulating and Fire Resistant Aerogel by Encapsulating Cellulose Nanofiber with Two-dimensional MoS₂. *Nanoscale*, 10.1039/C7NR02243C.
- Zou, F. a. 2021. Polysaccharide-based aerogels for thermal insulation and superinsulation: An Overview. *Carbohydrate Polymers*, available: <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2021.118130>.

TILAELEMENTIN OLOSUHTEIDEN JA MUODONMUUTOSTEN REAALIAIKAINEN SEURANTA, KULJETUSTEN JA VARASTOINNIN SEKÄ SIIRTOJEN AIKANA

Aarno Hatsala

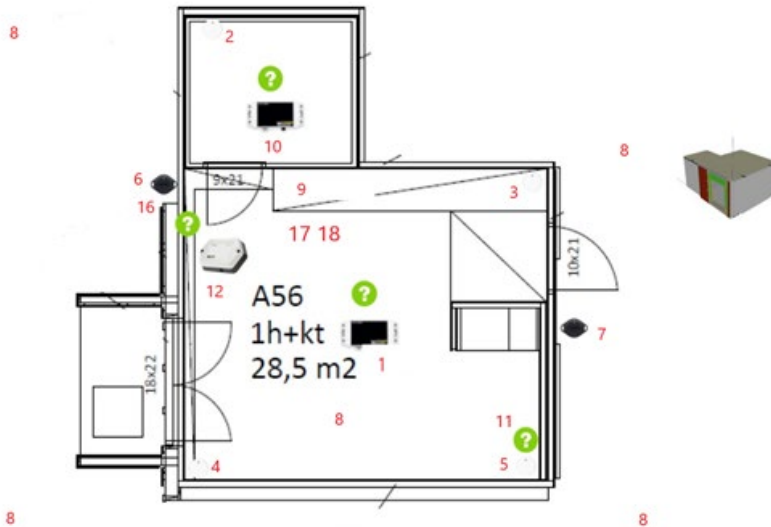
Toteutimme tilaelementin mittauspilotoinnin ketteränä kokeiluna osana PUURA 2023 -hanketta. Pilotointi toteutettiin aikavälillä 9.–16.3.2022. Mukana pilotoinnissa oli muutama yritys, jotka ovat nykyaikaisten mittaustekniikoiden ja laitteiden erikoisosaajia. Erilaisten antureiden ja lasermittausten antamat tulokset tuottivat objektiivisen tutkimuksen tilaelementin eri vaiheista rakennusfysikaalisina tuloksina ja malleina. Pilotin mittaustulokset koskivat tehtaalta asti varastoitua tilaelementtiä, sen kuljetusta kuorma-autossa ja lopulta sen työmaalla tapahtunutta nostoja ja siirtoja omalle pysyvälle paikalleen kerrostaloon. Tutkimustulokset synnyttivät mahdollisen palvelukokonaisuuden internet-pohjaiseen seurantaan pilvipalvelussa ja tulosten analysointiin uudella tavalla nimenomaan laadunvalvonnan ja seurannan näkökulmasta.

JOHDANTO

Ajatus tilaelementin seurantatutkimukseen syntyi tilaelementtejä valmistavan yrityksen toiveesta. Tarkoitus oli selvittää syitä mahdollisiin työmaalla ilmeneviin, elementtien kuljetuksesta, varastoinnista ja siirtelystä johtuneista vaurioista tilaelementtien rakenteissa ja valmiissa pinnoissa. Tilaelementtien valmistusprosessissa elementit viimeistellään tehtaalla lähes asuntojen luovutustasoa vastaavaksi. Kaikki kiinteät kalusteet, listoitukset ja pinnat tehdään valmiiksi kuivissa tehdasolosuhteissa. Työmaalla tehtäväksi jäävät ainoastaan tekniikan kytkeminen ja elementtien saumakohtien viimeistely. (Hatsala, Malmstedt 2022) Tutkimuksessa tarkkailtiin tilaelementin matkaa tuotantohallista varastoinnin ja kuljetuksen kautta paikalleen asennukseen saakka. Tällä matkalla tilaelementtiin kohdistuu monenlaisia rasituksia, joiden suuruusluokkaa on hankala arvioida. Mittauspilotoinnin tarkoituksena oli todentaa elementin eri rasitusten ja liikkeiden suuruutta mahdollisimman luotettavasti nykypäivän anturiteknologiaa hyödyntäen. Lisäksi pilotoinnissa tarkasteltiin rakennusfysikaalisia ominaisuuksia keskittyen suhteellisten kosteusprosenttien ja lämpötilojen muutoksiin. Lisäksi vertailtiin erilaisten mittareiden ja antureiden toimivuutta sekä soveltuvuutta tämän kaltaiseen tutkimukseen. (Hatsala, Malmstedt 2022)

SUUNNITELMA

Mittauspilotointia varten suunniteltiin tilamoduulista mittausuunnitelma. Tarkoituksena oli toteuttaa mahdollisimman kattava ja monipuolinen mittauskokonaisuus erilaisilla antureilla, laserskannerilla ja aktiivilasermittauksella (kuva 1).



KUVA 1. Mittausuunnitelmapilotointi (kuva Aarno Hatsala)

Mittausuunnitelma (kuva 1) sisälsi 18 kappaletta erilaisia antureita, sensoreita, mittareita, laserkeilaimia/mittareita sekä gateway-tiedonsiirtolaitteen. Näiden laitteiden mittausdata siirrettiin pilvipalveluun. Lisäksi osa laitteista tarvitsi varavirtaa erillisestä varavirta-akustosta. Mittausuunnitelma tarjosi selkeän näkymän ja sijoittelun mittareille tilaelementin pohjakuvaan, joka toimii interaktiivisena pohjana internetin pilvipalvelussa.

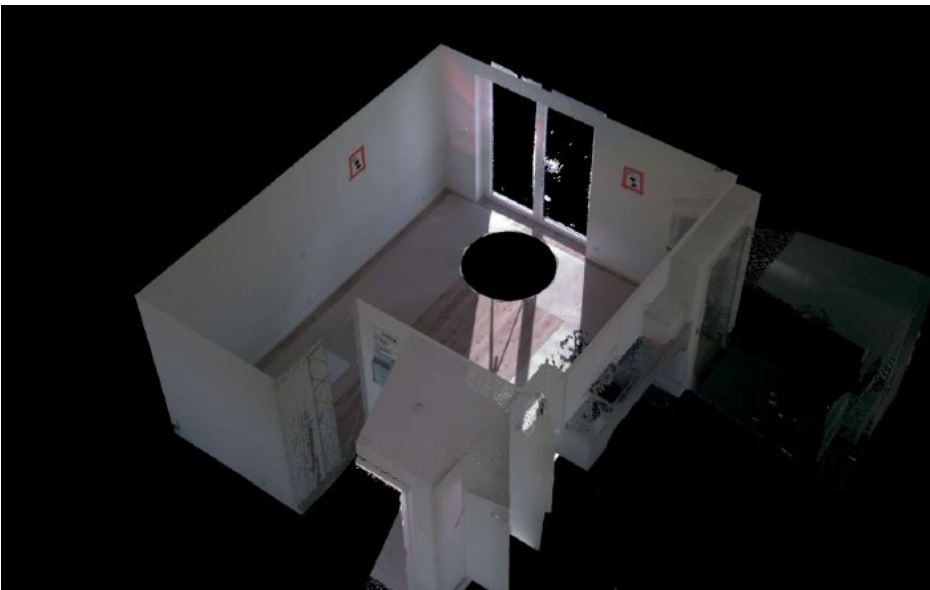
TOTEUTUS

Mittauspilotoinnin toteutus tehtiin tilaelementtitehtaan tuotannossa mittausuunnitelman mukaisesti. Asennukset toteutettiin 8.3.2022 tilamoduulin sisä- ja ulkopuolien pintoihin ja rakenteiden sisälle (kuva 2). Näillä asennuksilla tutkittiin eri rakennetyyppien kerroksissa olosuhteiden suhteellisia kosteusprosentteja ja lämpötilakäyttäytymisiä sekä kiihtyvyyssmittauksia liikkeessä. Mittareiden kiinnityksinä toimivat kaksipuoliset teippaukset, ja osalle mittareista tehtiin tarvittavat reiät sekä ruuvaukset takaamaan paikalla pysyminen. Tämä oli oleellisen tärkeää, kun tavoittelimme luotettavia tuloksia kiihtyvyyssmittauksissa ja kiihtyvyysovoimien muutoksia eri tilanteissa.



KUVA 2. Piikkimittari (vasemmalla) ja piikkimittari asennettuna paikalleen (oikealla) (kuvat Aarno Hatsala).

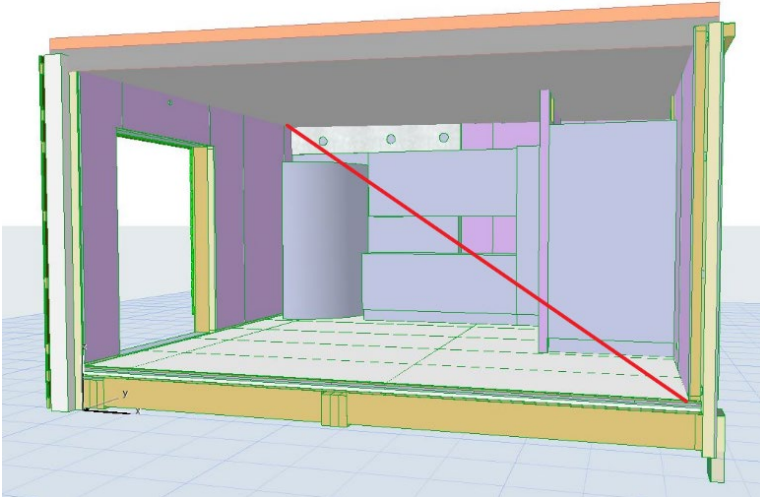
Erilaisten mittarointien lisäksi tilamoduulista toteutettiin 3D-laserskannauksia tilamoduulin sisältä sekä ulkoa keilaten koko kohteen satojentuhansien mittauspisteiden tuottaessa erittäin tarkan pistepilven (kuva 3). Liiketutkimukseen kuului myös ristimittauslaserointi, joka tehtiin tilamoduulin sisällä. Tilamoduulin sisälle asennettiin ristimittalaser ja gateway-tiedonsiirtoyksikkö (kuva 4), jonka tarkoituksena oli seurata mahdollisia muutoksia liikkeessä tehtaalta asennukseen asti. Lasersäteen lähetin asennettiin huonetilan alanurkkaan (kuva 5) ja vastinpiste suunnattiin ristikkäiseen ylänurkkaan. Mittalaser mittasi pisteiden etäisyyttä halutuin aikaväleihin. Aikavälejä pystyttiin säätämään etäohjauksella. (Hatsala & Malmstedt 2022)



KUVA 3. Pistepilvi 3D-laserkeilaamalla (kuva Mika Honkavuori).



KUVA 4. Mittilaser ja gateway (kuva Marko Saikkonen).



KUVA 5. Ristimittauksen mittausperiaate (kuva Aarno Hatsala).

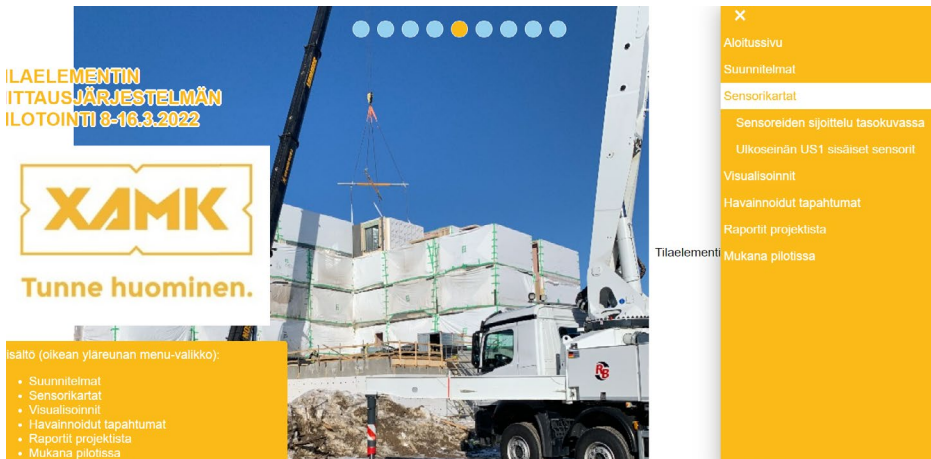
Tilamoduulista luotiin myös 360 asteen panoramakuvaus pilvipalveluun. Pilvipalvelu toimii interaktiivisena tilana, jossa voidaan seurata ja tutkia mittareiden antamia mittaustuloksia reaaliajassa (kuva 6). (Hatsala & Malmstedt 2022.)



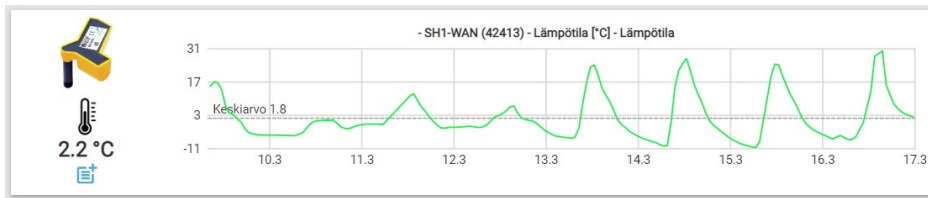
KUVA 6. Panoramamallin 360 kameran kuvaus tilamoduulissa (vasemmalla). 360 asteen panoramamalli pilvipalvelussa (oikealla) (kuvat Aarno Hatsala).

MITTAUSPILOTOINNIN TUTKIMUSMENETELMÄT PILVIPALVELUSSA

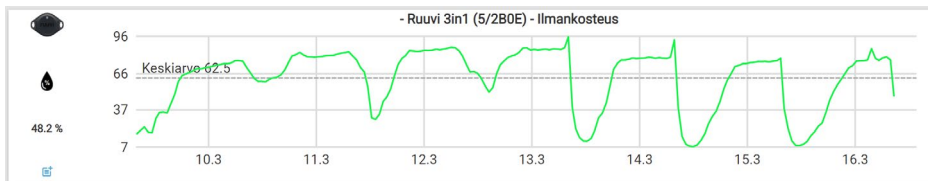
Mittauspilotoinnin tutkimusmenetelmät ja niiden tiedot kerättiin pilvipalveluun (Calculation tools -pilvipalvelu 2022), jossa mittaustulokset ja niiden tarkastelu voitiin suorittaa objektiivisesti monenlaisista näkökulmista käsin. Uudenlaisessa interaktiivisessa pilvipalvelussa voitiin tutkia tuloksien muuttujia halutuilla aikaväleillä ja mittarien tulokset saatiin yksittäin eriteltynä. Samalla voitiin myös tutkia kiihtyvyyksiä kokonaisuutena kaikkien resultanttien suhteen. Raportit tutkittiin halutuilla muuttujilla niin lämpötilamuutosten ja kosteuskäyttämisen kuin kiihtyvyydestarkkailun suhteen. Nämä tulokset saatiin pilvipalvelussa sensorikarttana, ja ne sisälsivät eri mittareiden tulokset kaaviona (kuvat 7–10).



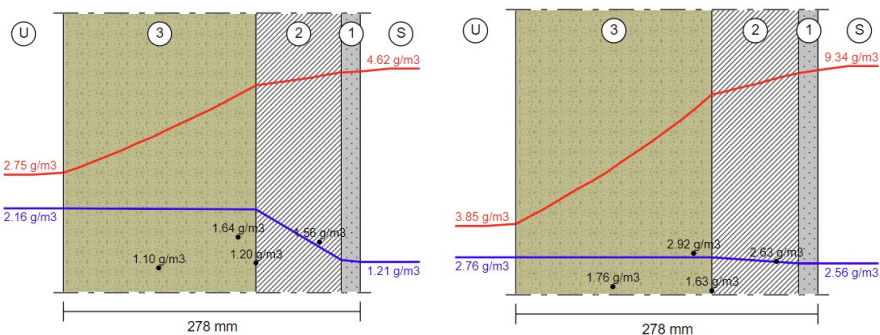
KUVA 7. Pilvipalvelu ja sen valikot (kuva Marko Saikkonen).



KUVA 8. Lämpötilat ulkoverhouksen tuuletusraossa (mittaus 60 minuutin välein) (kuva Fanny Malmstedt).



KUVA 9. Suhteellinen ilmankosteus elementin ulkopuolella, muovikalvon päällä (mittaus 5 minuutin välein) (kuva Fanny Malmstedt).



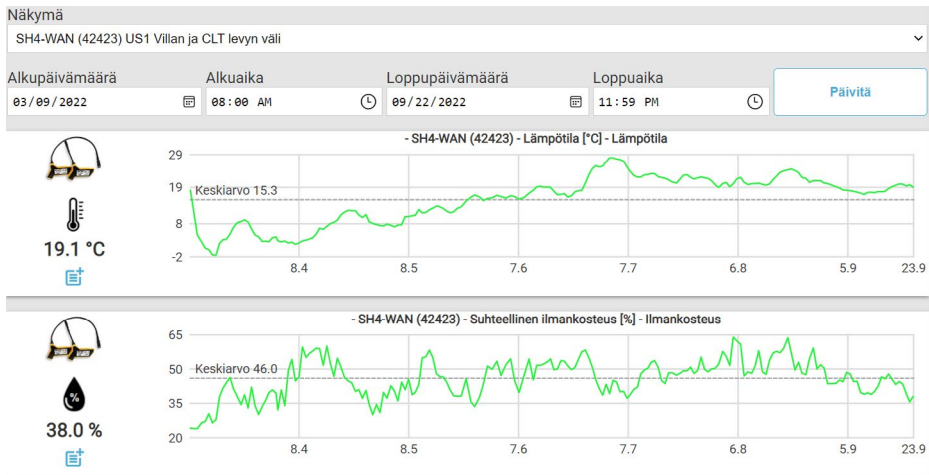
KUVA 10. Piikkimittarin ja eristeväliin asennetun anturin mittaustulokset Dof-lämpöohjelmassa (10.3.2022 ja 16.3.2022). (Kuva Fanny Malmstedt)

Pilvipalvelussa visualisoinnit mahdollistivat erinomaisen tutkimustulosten tarkastelun. Visualisoinnit sisälsivät tilamoduulista 360 asteen panoramamallin, 3D-mallin, laserskannatun pistepilven ja sen tarkastelut sekä dokumentoidut kuvat ja videot eri paikoissa ja siirroissa. Näiden visualisointien avulla saadaan tilamoduulin tarkastelu helposti ymmärrettävään ja havainnoitavaan muotoon katsojalle.

TULOKSET JA HAVAINNOT

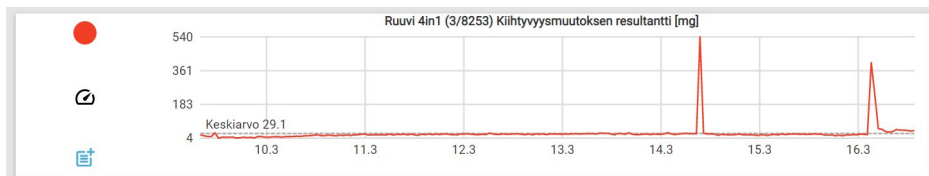
Tulokset ja havainnot mittauspilotin lämpötila- ja kosteusmittauskäyttötymisten ja kiihtyvyyssantureiden sekä lasermittausten suhteen olivat seuraavat.

Lämpötila- ja kosteusmittaukset koko prosessin aikana paljastivat, että elementtiin kohdistuu ulkopuolelta nopeita lämpötilan ja kosteusarvojen muutoksia, mutta itse elementin sisätilan ja suojamuovin sisäpuolen arvot pysyivät melko tasaisina (kuva 11) (Hatsala & Malmstedt 2022).



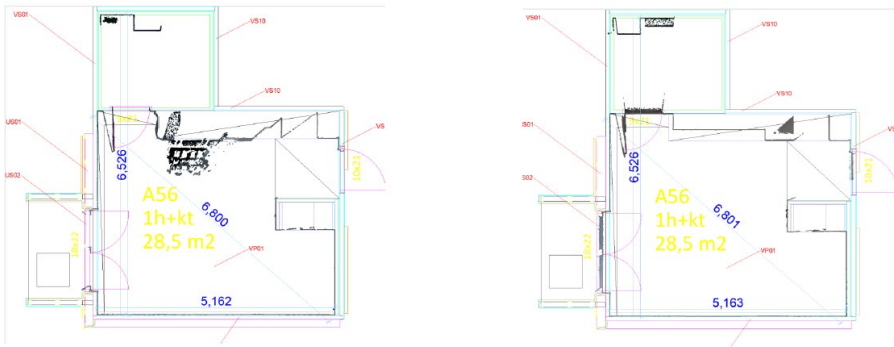
KUVA 11. Ulkoseinän 1 eristysvillan ja CLT:n levyvälin olosuhteet pilotin aikana (kuva Fanny Malmstedt)

Kiihtyvyyssantureiden analyysien tulokset (kuva 12) kertoivat, että kuljetuksen aikana kiihtyvyyksissä tapahtui yksi selkeä tärähdys noin 30 km:n kohdalla lähtöpaikasta, ja koko matkan pituus oli noin 100 km. Muuten kiihtyvyydet pysyivät maltillisina läpi siirtojen. Suurimmat tärähdykset tapahtuivat asennuksen yhteydessä rautakangella tehdyissä sivuitaissirroissa. (Hatsala & Malmstedt 2022)



KUVA 12. Kiihtyvyyssanturin mittaus koko pilotin aikana (kuva Aarno Hatsala)

Laserskannauksessa jokaisesta skannauskierroksesta valikoitiin tarkempaa analyysia varten yksi skannaus aina samasta kohdasta. Mittausten perusteella voidaan todeta, että tilaelementin todelliset mitat (kuva 13) vastasivat hyvin alkuperäisiä suunnitelmia. Ristimittalaserin, kiihtyvyyssantureiden ja keilauksen tulosten perusteella voidaan todeta, että säilytyksen, kuljetuksen ja noston aikana ei tapahtunut vaurioita eikä muodonmuutoksia. Ainoastaan yksi kipsilevyosauman ratkeaminen oli silmin havaittavissa. (Hatsala & Malmstedt 2022)



KUVA 13. Skannauskierros 3, 300 mm:n ja 2000 mm:n korkeudelta (kuva Mika Honkavuori)

YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET

Yhteenvedona mittauspilotti saavutti sille annetut tavoitteet suunnitelmien, toteutuksen ja mittarointien suhteen. Tulokset antoivat oletettuja mutta myös yllättäviä tuloksia koskien rakennusfysikaalisia olosuhteiden ja siirtojen aiheuttamia seurauksia tilamoduulille testausaikana. Nämä tulokset luovat uusia tutkimuskohteita ja -menetelmiä. Näitä ovat pilvipalvelun käyttäminen digitaalisena tutkimuspohjana, mikä luo aktiivisen pohjan toteuttaa raportointeja ja seuranta eri testauksille ja mittaroinneille. Lasermittaukset tuodaan elementtirakentamisen kaikkiin vaiheisiin tueksi ja avuksi mittojen ja suunnitelmien varmistamiseksi. Lisätutkimusaiheina osana palvelukokonaisuutta voisivat olla muun muassa akustiikkatutkimus, ominaistajuustutkimus lattiaelementeistä laserilla ja GPS-seuranta antureihin ja mittareihin. Tällainen palvelukokonaisuus palvelisi mahdollisesti seuraavilla osa-alueilla kuljetustekniikkoja, tilamoduulien säilytyksiä, liitostutkimuksia ja nostotekniikoista VOC- ja pienhiukkastutkimuksia puurakenteisissa tilamoduuleissa.

LÄHTEET

Calculation tools -pilvipalvelu. D.O.F tech Oy, Marko Saikkonen. Saatavissa <https://www.calculationtools.com/frame.php?app=menu&menu=a56final&c=XAMK>

Hatsala, A. & Malmstedt, F. 2022. XAMK Puura 2023 -hankkeen ketteräkokeilun Mittauspilotoinnin loppuraportti.

CLT-VOIMALIITOKSEN GEOMETRIAN LUONTI JA FEM-LASKENTA

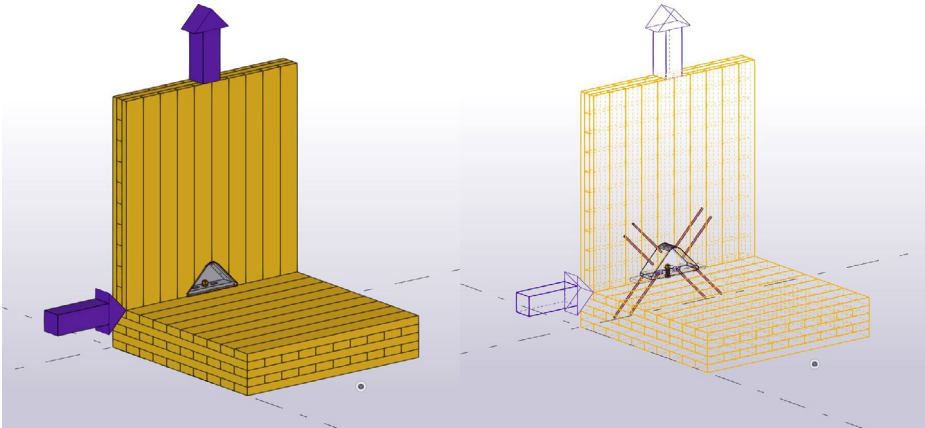
Fanny Malmstedt

Osana PUURA 2023 – Teollisen puurakentamisen innovaatioekosysteemin vahvistaminen -hanketta tutkittiin uudentyypistä liitosta CLT-rakenteisiin. Liitoksen käyttötarkoitus tulisi olemaan suurimittakaavaisten toimisto- ja asuinrakennusten seinä- ja välipohjaliitoksissa. Markkinoilla on erittäin vähän vastaavaan tarkoitukseen tarkoitettuja tuotteita, joten aihealue kaipaa kehittämistä.

Liitoksen suunnittelu aloitettiin geometrian luomisella, toisessa vaiheessa liitoksen kestävyttä tarkasteltiin Excel-laskelmien avulla ja lopuksi liitoksen käyttäytymistä tutkittiin FEM-analyysillä. Suunnittelutyötä on tehty yhteistyössä Insinööritoimisto Lahtela Oy:n kanssa. FEM-analyysin toteutti Stressfield Oy. Liitososan prototyypin valmisti Samiedu. Hanketta rahoittivat Etelä-Savon maakuntaliitto Euroopan aluekehitysrahastosta, Savonlinnan kaupunki ja Xamk.

JOHDANTO

Tutkittavan CLT-liitoksen on tarkoitus vastaanottaa rakennuksen tuulikuormasta aiheutuvia rasituksia. Rakennukseen kohdistuva tuuli aiheuttaa seinä- ja välipohjaliitoksiin leikkaus-, veto- ja puristusrasituksia. Veto- ja puristusrasituksia ei esiinny yhtä aikaa samalla puolella rakennusta. Näistä tarkasteltiin puurakenteilla vaikeammin hallittavaa vetorasitusta. Tavoitteiksi liitoksen kestävyydelle asetettiin 50 kN:n veto- ja 50 kN:n leikkausvoimaa yhtäaikaisesti, ja kuormat ohjautuvat teräsosille puulevyjen välityksellä (kuva 1).



KUVA 1. Havainnekuva liitoksesta seinän ja välipohjan liittymässä sekä liitokseen kohdistuvien kuormitusten suunnista (kuva Fanny Malmstedt)

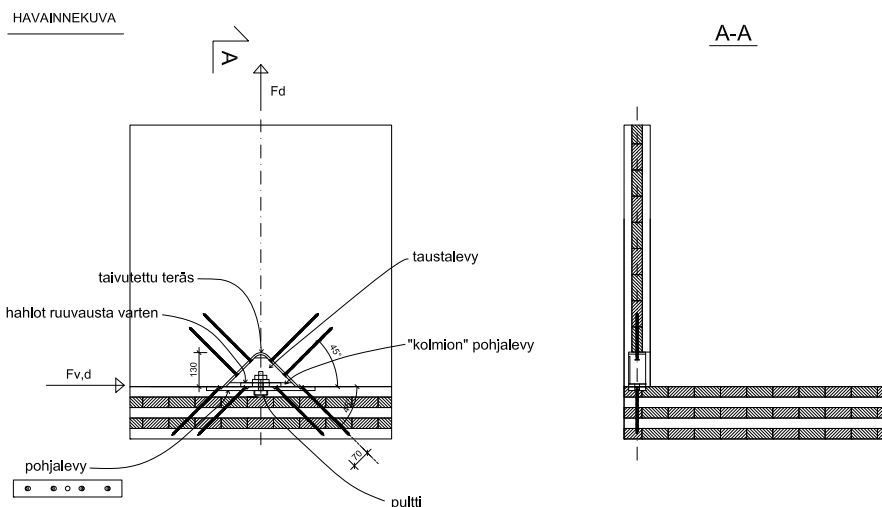
Puu on materiaalina ortotrooppinen, eli sillä on kolmeen eri suuntaan erilaiset lujuusominaisuudet. Tästä ominaisuudesta johtuen käsinlaskenta monimutkaisia kokonaisuuksia tarkasteltaessa on haastavaa. Sen vuoksi liitoksen tarkastelussa päätettiin käyttää tietokoneohjelmiston avulla suoritettavaa teknistä laskentaa eli FEM-analyysii (Finite Element Method). Aikaisemmin FEM-laskentaa CLT-levyille on hyödynnetty Xamkin PUURAKES-hankkeessa välipohjan värähtelyn analysoinnissa. (Sykiäinen ym. 2020)

MATERIAALIT JA MENETELMÄT

Liitososan geometrian luomisessa tavoitteena oli selkeä, helposti CLT-levyyn jyrittävässä oleva muoto. Myös teräsosien tulisi olla yksinkertaisia ja kustannustehokkaita valmistaa. CLT-levyjen yleisimmin käytetyt paksuudet seinärakenteissa ovat 80, 100 ja 120 mm. Tavoitteeksi asetettiin, että kiinnitysosa on upotettavissa 100 mm paksuun seinälevyyn. Liitoksen ulkomitat pyrittiin pitämään mahdollisimman pieninä ruuvien reuna- ja keskiöetäisyydet huomioiden (kuva 2). CLT-pohjalaatan paksuudeksi valittiin 200 mm.

Kiinnitysosan geometrian tarkastelussa käytettiin EN 1993, Eurocode 3 Teräsrakenteiden suunnittelu- ja EN 1995-1-1 Eurocode 5 Puurakenteiden suunnittelu -standardien mukaisia kiinnikkeiden vähimmäisetäisyyksiä sekä vinoruuvien vaatimia reuna- ja keskiöetäisyyksiä yleisimpien ruuvi- ja CLT- valmistajien tuotehyväksyntöjen mukaisesti.

Liitokseen kohdistuvat voimat otetaan vastaan vinoruuveilla, jotka mitoitetaan vedolle. Ruuviliittimien aksiaali- eli vetokapasiteetti on huomattavasti leikkausvoimakapasiteettia suurempi. Pohjalevyn ja kolmiomaisen yläosan välillä voimat siirtyvät pultin välityksellä.



KUVA 2. Liitoksen sijainti ja geometria (kuva Fanny Malmstedt)

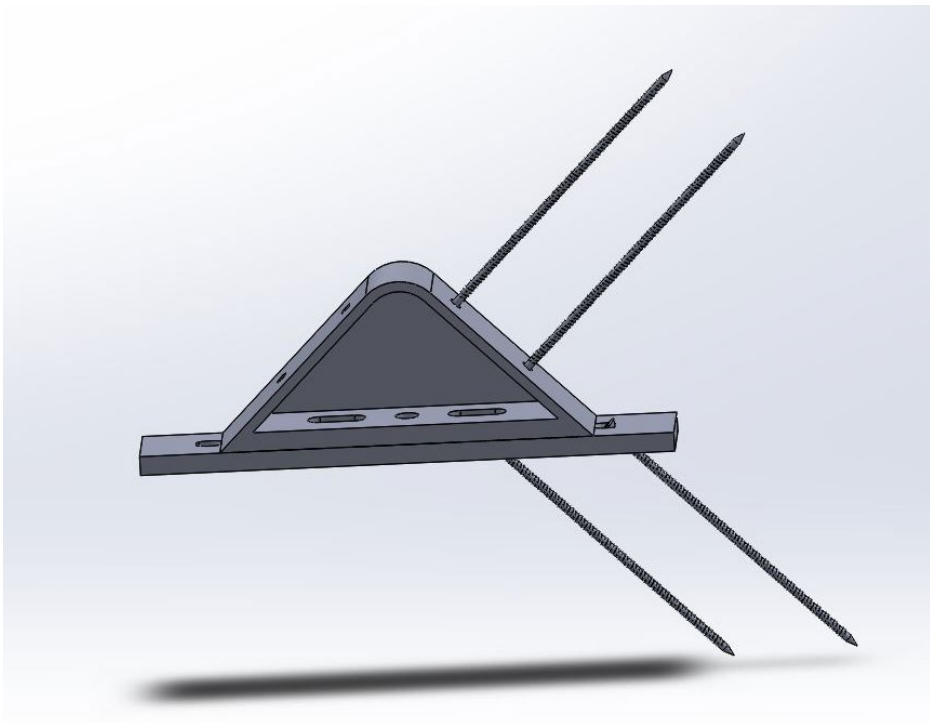
LASKENTA

Excel-laskenta suoritettiin EN 1995-1-1 Eurocode 5 Puurakenteiden suunnittelu- ja EN 1993, Eurocode 3 Teräsrakenteiden suunnittelu -standardien sekä kahden ruuvivalmistajan tuotehyväksynnän mukaisesti. Excel-laskelmalla pystyttiin tarkastelemaan liitoksen vino-ruuvien ja pultin kestävyyttä sekä haarukoimaan teräs- ja puuosien kestävyyttä.

FEM-analyysillä saadaan selvitettyä tarkemmin rakenteiden jännitykset ja siirtymät tietokoneavusteisesti. Analyysiä varten luotiin kuormitusyhdistelmätaulukko (taulukko 1) ja teräsosista rakennettiin 3D-malli SolidWorks-mallinnusohjelmalla. Kuvassa 3 näkyvästä 3D-mallista liitoksen geometrian pystyi siirtämään suoraan FEM-laskentaohjelmistoon. CLT-levyistä mallinnettiin laskentaohjelmistoon yhden neliömetrin suuruiset palat. Laskenta-analyysi toteutettiin lineaarisella menetelmällä NX-Nastran ohjelmalla.

TAULUKKO 1. FEM-analyysissä käytetyt kuormitusyhdistelmät

| KY | F _{v,d} | F _d |
|----|------------------|----------------|
| 1 | 0 kN | 50 kN |
| 2 | 10 kN | 50 kN |
| 3 | 20 kN | 50 kN |
| 4 | 30 kN | 50 kN |
| 5 | 40 kN | 50 kN |
| 6 | 50 kN | 50 kN |
| 7 | 50 kN | 40 kN |
| 8 | 50 kN | 30 kN |
| 9 | 50 kN | 20 kN |
| 10 | 50 kN | 10 kN |
| 11 | 50 kN | 0 kN |

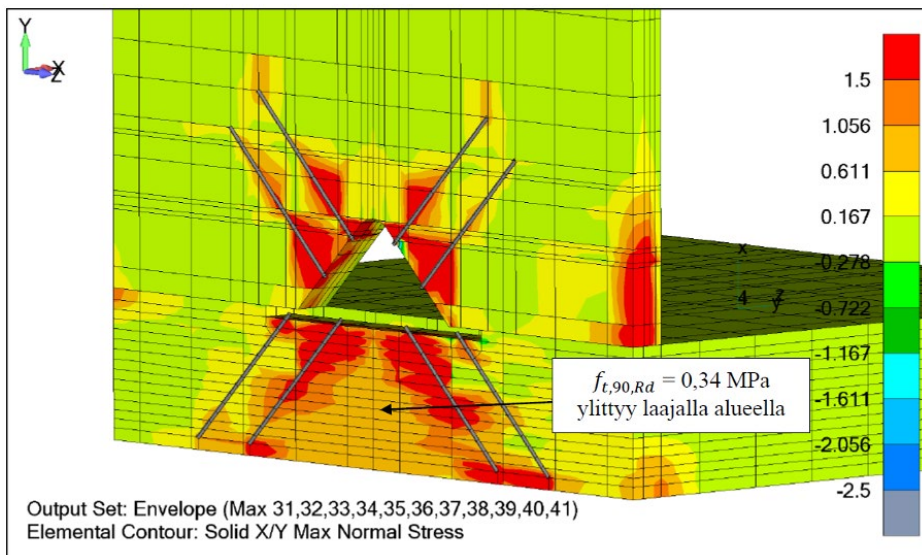


KUVA 3. Teräsosien tarkka malli, havainnollistamisen vuoksi toisen puolen vinoruuvit on piilotettu (kuva Fanny Malmstedt)

TULOKSET

Excel-laskelman mukaan liitos ei tulisi kestävään 50 kN:n suuruisia kuormituksia. Laskelman perusteella kriittiseksi kohdaksi muodostui koko liitososaan sivulta kohdistuvan leikkausvoiman kestävyys. Laskelma ei kuitenkaan huomioi esimerkiksi teräsosan kolmiomaisen muodon leikkauskestävyyden vahvistavaa vaikutusta, joten voitiin olettaa todellisen kestävyuden olevan huomattavasti suurempi.

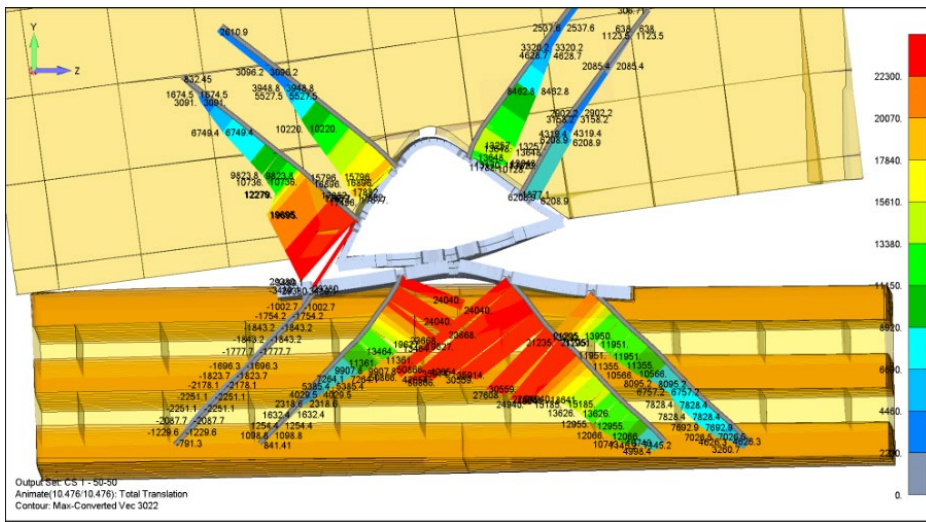
Myöskään FEM-analyysin perusteella liitos ei kestänyt toivottuja voimia. Poikkisyiden suuntainen vetolujuus ylittyi CLT-laatasta (kuva 4). Todennäköisesti vetokestävyyden ylityminen ei kuitenkaan aiheuta levyn hajoamista, koska kuorma välittyy levyn läpi ruuvien vetorasitusten välityksellä jakautuen vielä laajemmalle alueelle.



KUVA 4. Clt-elementtien synn vastaisen vetokestävyyden ylittyminen (KY1) (kuva Stressfield Oy)

Teräsosista kolmiomaisen yläosan kestävyys oli riittävä. Sen sijaan pohjalevyn taivutuskestävyys ylittyi. Seuraavassa kehitysversiossa pohjalevyyn voisi lisätä poikittaisjäykisteen sekä kasvattaa kuormituksia jakavien ja vastaanottavien ruuvien määrää.

Analyysin perusteella liitokseen kohdistuvat rasitukset eivät jakautuneet vinoruuveille oletetulla tavalla tasaisesti, vaan keskittyivät pohjalevyssä keskimmaisille, lähimpänä pultteja sijainneille ruuveille sekä kolmiokorvakkeen reunimmiselle ruuville (kuva 5). Todellisuudessa kuormitukset lähtevät jakautumaan myös viereisille ruuveille, mikäli ruuvilla on riittävästi muodonmuutoskapasiteettia eli ruuvi ei katkea, vaan vetäytyy hieman ulos reiästä.



KUVA 5. Ruuvien aksiaalivoimien jakautuminen liitoksessa (KY6) (kuva Stressfield Oy)

CLT-elementtien syyn suuntaiset veto-, leikkaus- ja puristusjännitykset eivät ylittäneet kestävyyskäyriä. Myöskään syynvastainen puristuskestävyys ei ylittynyt.

Analyysin tulosten ei voitu etukäteen olettaa olevan suoraan skaalattavissa kuormitusten suuruuden suhteen, eli jos kuormitus puolittuisi, rasitukset eivät välttämättä puolitu. Skaalattavuutta tutkittiin erillisellä analyysillä sekä pohjalevyn taivutusjännityksen ja CLT-elementin syyn vastaisen vetojännityksen ja ”rolling shear” -jännityksen suhteen. Tulokset olivat riittävällä tarkkuudella lineaarisesti kuormituksesta riippuvia.

JOHTOPÄÄTÖKSET

Analyysin perusteella CLT-levyn, pohjalevyn ja vinoruuvien kestävyys ylittyi, mutta lineaarisella analyysillä ei pystytäkään tarkastelemaan liitoksen käyttäytymistä tarpeeksi tarkasti ja täysin todellisuutta vastaavalla tavalla. Epälinearisella analyysillä olisi päästy huomattavasti tarkempiin tuloksiin, mutta se on huomattavasti suuritoisempi toteuttaa.

Tuloksien perusteella liitososan kestävyys oli lähes odotusten mukainen, mutta muutamia jatkokehitystä vaativia heikompia kohtia löytyi. Alustavaan tuotekehitykseen ja liitoksen heikkouksien tunnistamiseen lineaarinen analyysimenetelmä oli sopivan kevyt. Liitoksen tutkimista jatketaan parantamalla liitoksen geometriaa. Todellisen kestävyuden määrittämiseksi liitokselle on tehtävä myös mekaanisia testejä.

Savonlinnan ammatti- ja aikuisopisto valmisti liitososasta ensimmäisen prototyypin (kuva 6) tarkkojen mittapiirustusten avulla. Osan valmistaminen osoittautui helpohkoksi, kuten oli suunniteltu. Lopputuloksesta tuli tarpeeksi mittatarkka ja siistin näköinen.



KUVA 6. Samiedun valmistama prototyyppi (kuva Fanny Malmstedt)

Liitososan asennettavuutta ja käyttökelpoisuutta testataan Xamkin Puutiko- hankkeessa rakennettavassa testitalossa syksyn 2022 aikana.

LÄHTEET

Sykiäinen, M., Lindqvist, H., Lahtela, T. & Varis, K. 2020. CLT-rakenteisen pilarilaa-
tan FEM-laskenta ja pilotointi. Metsä, ympäristö ja energia, Vuosijulkaisu 2020. sivut
314–322. Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu. Saatavissa: [https://www.theseus.fi/
handle/10024/693869](https://www.theseus.fi/handle/10024/693869)

Pellikka, V. & Simonen, J. 2022. ”CLT-liitoksen FE-analyysi” -raportti. Stressfield Oy.

SUURTEN TESTAUSKAPPALEIDEN MUODONMUUTOSTEN TODENTAMINEN 3D-SKANNAUKSEN AVULLA

Mira Kettunen

3D-skannausta kartoitettiin osaksi teollisen puu- ja hybridirakentamisen testilaboratorion testausmenetelmiä. Osana Puura 2023 -hanketta haettiin puu- ja hybridilaboratorioon edistyneimpiä tapoja taltioida kappaleissa tapahtuvia muutoksia laboratoriotestauksessa. Hankkeen rahoittajina toimivat Euroopan unionin Euroopan aluekehitysrahasto, Vipuvoimaa EU:lta 2014–2020, Etelä-Savon maakuntaliitto sekä Xamk Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu. 3D-skannaus tuo visuaalisesti ja tarkasti näkyville muutokset mitattavista kohteista. Muodonmuutoksien todentaminen 3D-skannauksella aloitetaan mittaamalla ennen kuormitusta, miten testattava kappale vastaa suunniteltua tuotetta. Skannaus tuo näkyviin kuormituksen aikana tapahtuvat muutokset sekä pysyvät muutokset kappaleessa. Tuloksia voidaan käyttää aina tuotekehityksestä kestävyuden todentamiseen.

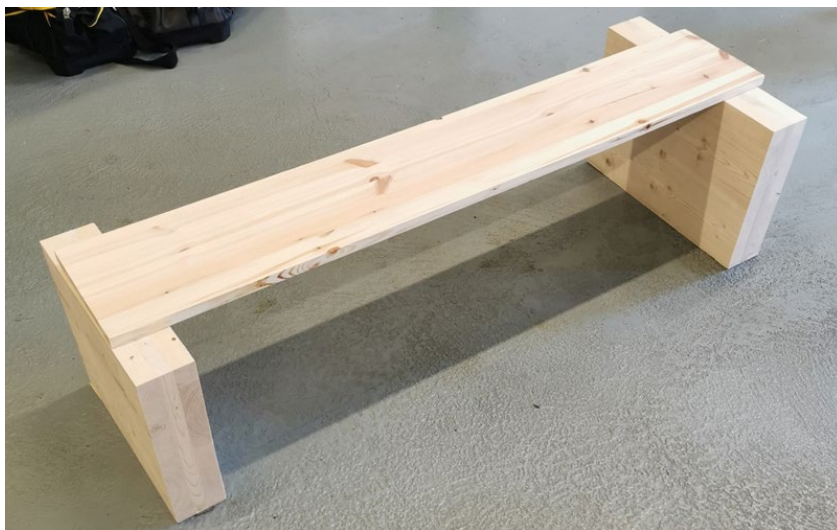
JOHDANTO

Puu- ja hybridirakentamisen testauslaboratorion tarpeisiin haettiin mahdollisimman selkeää ja informatiivista tapaa taltioida testattavien kohteiden muutoksia. Taltiointimenetelmän valintaan vaikuttivat laitteen helppokäyttöisyys, monipuolinen tulosten tarkastelu ja tulosten jakamisen yksinkertaisuus. Lisäksi positiivisia asioita 3D-skannerin hankinnassa olisi hintaan sisältyvä käyttökoulutus henkilökunnalle laitetoimittajan puolesta sekä tukipalvelut ohjelmiston käytössä.

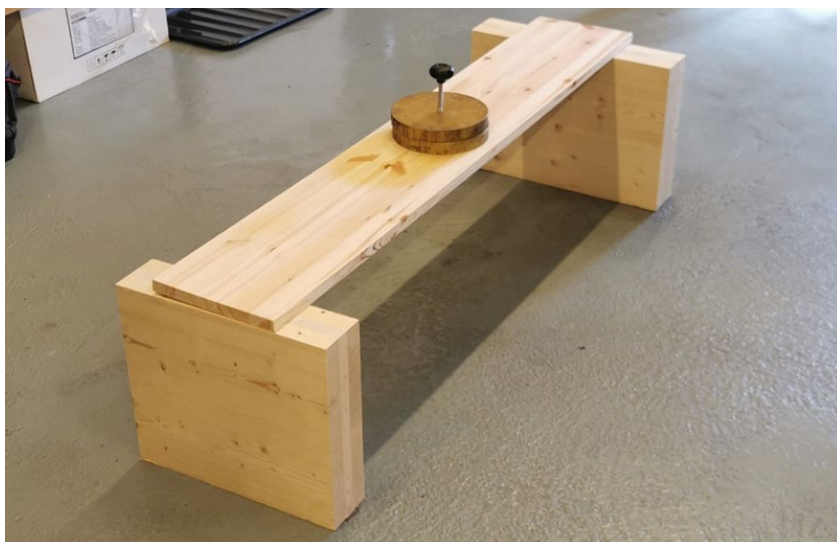
Kävimme Porvoossa laitetoimittaja AIP Worksin tiloissa testaamassa 3D-mallintamista. Toteutimme yksinkertaisen kuormitustestin pienellä kappaleella ja olimme erittäin tyytyväisiä laitteen ominaisuuksiin sekä ohjelmiston helppokäyttöisyyteen että dataan, jota saatiin testikappaleesta. Testilaboratoriossa testattava kappale voi olla esimerkiksi seinäelementti tai tilamoduuli, joten kartoituksessa otettiin huomioon, riittääkö yksi laite kuvantamiseen vai onko helpompi käyttää kahta erilaista laitetta, jotka käyttävät samaa ohjelmistoa. Testattavat kappaleet tulevat olemaan suuria ja kuormituksen aiheuttamia muutoksia tulee pystyä seuraamaan useasta eri suunnasta samanaikaisesti. Tilaelementti on hyvä esimerkki kappaleesta, jossa muodonmuutoksia voi tapahtua usealla eri pinnalla kuormituksen aikana.

TULOKSET

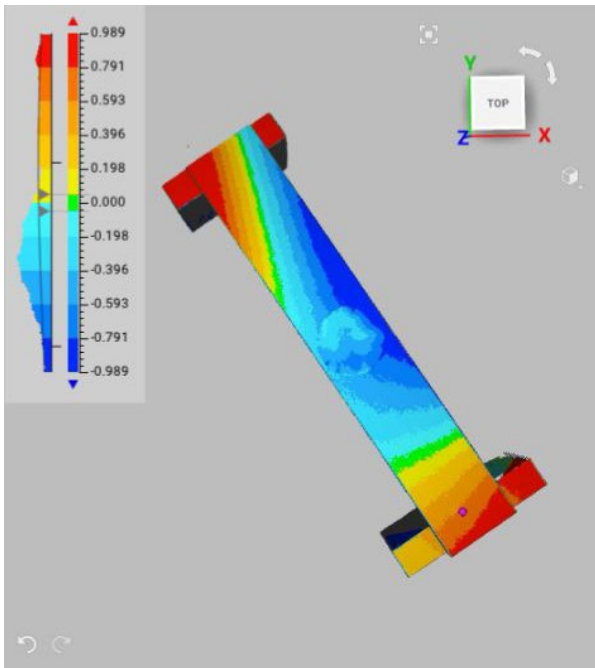
Testattava kappale kuvattiin kädessä pidettävällä skannerilla ja valmistuvaa kuvaa pystyi seuraamaan suoraan tietokoneen näytöltä samalla, kun kappaletta kuvattiin. Valmista kuvaa kappaleesta neutraalissa tilanteessa (kuva 1) eli ilman kuormitusta käytetään pohjakuvana, jonka päälle lisätään kuva kuormitetusta kappaleesta. Tässä testissä kappaletta kuormitettiin ylhäältäpäin pyöreillä levypainoilla (kuva 2). Muutokset tulevat kuvaan näkyviin eri väreillä, jolloin nähdään, että kuormitus aiheutti muutoksen suhteessa isolle alalle verrattuna pisteeseen, jolle painot laitettiin (kuva 3 ja 4).



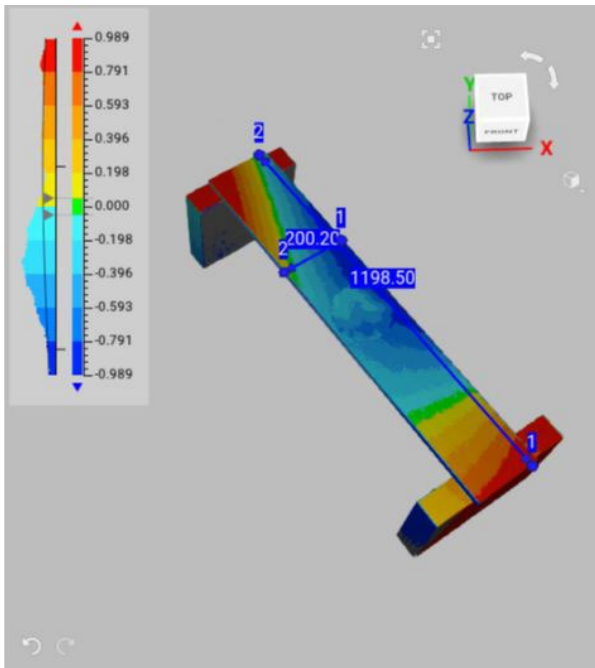
KUVA 1. Testikappale kuormittamattomassa tilassa tukien päällä (kuva Mira Kettunen).



KUVA 2. Testikappale kuormitettuna ylhäältäpäin pyöreillä levypainoilla (kuva Mira Kettunen).



KUVA 3. 3D-kuva otettuna käytettävästä ohjelmistosta. Värit tuovat näkyviin kuormituksesta aiheutuneen muutoksen kappaleessa (kuva AIP Works).



KUVA 4. 3D-kuvasta pystyy mittaamaan muutoksia ja ottamaan osasta mittoja (kuva AIP Works).

YHTEENVETO

Testauksen aikana käydyn keskustelun ja toteutetun testin pohjalta tulimme lopputulokseen, että testilaboratoriossa olisi järkevää käyttää kahta laitetta, kädessä pidettävää skanneria pienempiin monimuotoisiin testikappaleisiin sekä omalla jalalla seisova 360-kameraa suurempiin testattaviin. Tulosten tutkiminen ja eteenpäin jakaminen helpottuisi, kun tiedot saadaan ohjelmistosta suoraan tietomallimuodossa, mikä yksinkertaistaa tutkimuksen loppuraportin laadintaa.

3D-skannaus on hyvä vaihtoehto pitää mielessä testauslaboratorion dokumentointilaitteistoa hankittaessa.

MATERIAL AND CHEMICAL ANALYSIS OF MUNICIPAL SOLID WASTE INCINERATION (MSWI) BOTTOM ASH

Irina Turku & Svetlana Butylina

This study is provided in the framework of the *HUGGER bio- ja kiertotalousmateriaalien energiatehokas murskaus* project (1/1/2021–31/12/2022) at the FiberLaboratory, Savonlinna, South-Finland University of Applied Science (Xamk). The project aims to build a full-scale experimental version of the Hugger crusher and develop working parameters for the Hugger technology using several testing materials, including solid waste incineration bottom ash. Along with the FiberLaboratory, KymiLabs research centre, Kymenlaakso division of Xamk, participated in the testing part of the project. Project consortium includes companies SERTY ry, Terrafame Oy, Umacon Oy, Fortum Oyj, Lahden Kestobetoni Oy and Tevo Oy. The project has received funding from the European Regional Development Fund/EAKR.

MATERIAL ANALYSIS

Bottom ash (BA) has a multifaceted, mostly inorganic structure containing different amounts of fines, glass shards, scrap metals, synthetic ceramics, melt components and unburned organics (Wei et al. 2011). The relative proportion of these substances in BA depends on the amount fed to the incineration plant, the composition of the waste, the volatility of the substances and the type and operation of the grate. Correct information about the BA composition is important for estimating the resource potential and separation technology development (Valle-Zermeño et al. 2017).

All constituents of BA can be divided into two major phases: (i) *melt* and (ii) *refractory products*. The melt products comprise a new phase formed during the melting process. Melt products are slag materials which consist mostly of glass, denoted as secondary glass, and precipitated minerals (Eusden et al. 1999). The refractory fraction originates from incoming waste; the particles of this fraction remain almost intact due to their melting point being higher than the temperature of the incinerator. The refractory products include glass fragments (primary glass), metal pieces, minerals and lithic fragments (Eusden et al. 1999). More specifically, BA can be separated into five fractions: glass shards, scrap metals,

synthetic ceramics, slag/minerals and unburned organics. Their amounts usually fit within the following ranges (Šyc et al. 2020):

- 5%–15% ferrous metals
- 1%–5% non-ferrous metals
- 10%–30% glass and ceramics
- 1%–5% unburned organics
- 50%–70% minerals

In most industrial countries, the quality of incinerated BA is monitored to estimate the potential for extracting scrap metal as well as improving the sustainability and quality of the BA for utilisation in civil engineering. This study aimed to carry out the chemical and material analysis of solid waste incinerated BA (3 months weathered) supplied from Fortum Waste Solutions Oy. The supplied material was screened into different fractions by size using a Retsch AS200 analytical sieve shaker. The sample was homogenized by steering before analysis. Four size fractions, 3–5 mm, 5–8 mm, 8–10 mm and 10–16 mm, were selected for the analysis. The materials were hand-sorted based on appearance, particle ductility, colour and magnetism. A Copylizer (Kiser, eVision executive HF, FibreLaboratory) and magnification glass were used to make identifying BA materials easier. Ferrous metals and magnetic slag were separated with a hand-magnet. The separated materials were weighed with a laboratory scale, and the mass ratio of materials in each size fraction was calculated. The results are shown in Figure 1.

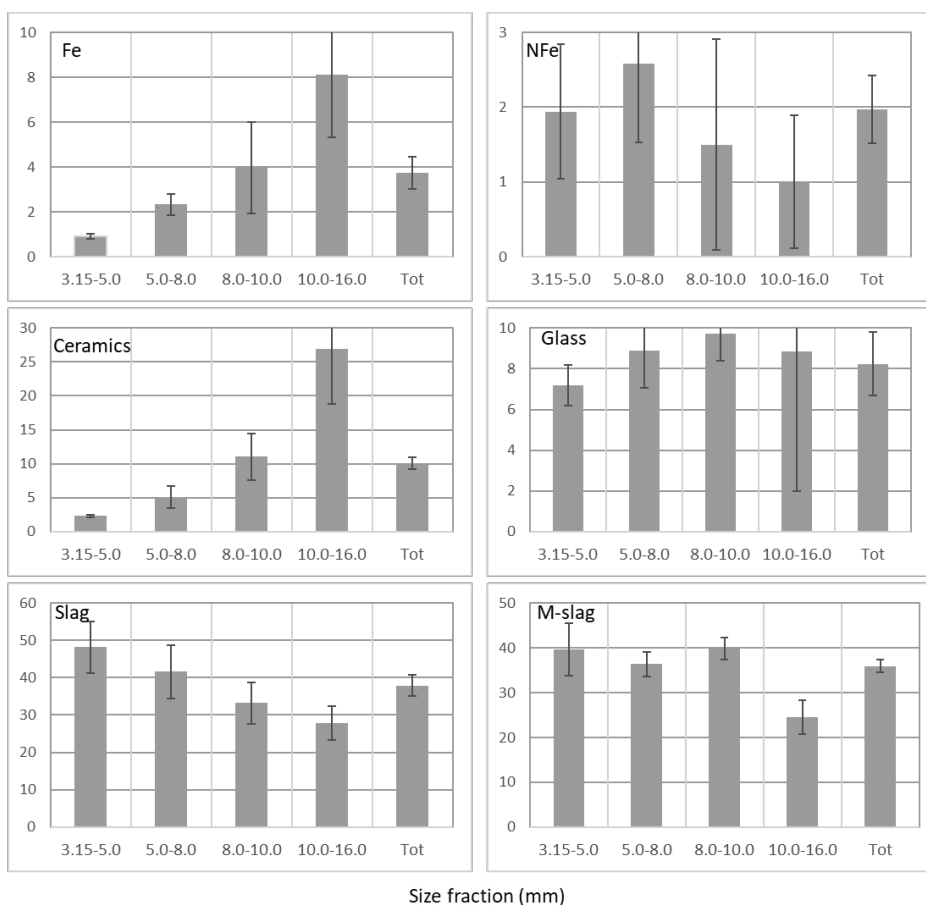


FIGURE 1. The material distribution in 3.15–16-mm MSWI bottom ash fractions.

It was found that the ferrous metals (Fe), mainly steel and iron items, were abundant in the large-size fractions, growing exponentially with increasing particle size fractions. This result is in line with previously published studies (Šyc et al. 2018, Huber et al. 2020, Vateva & Laner 2020). According to Šyc et al., ferrous scrap in fraction > 22 mm accounted for 50 wt% and rapidly decreased with the particle size (Šyc et al. 2018). It should be noted that some particles were covered with slag, which was gently chipped off from the surfaces of the particles using a laboratory mortar and pestle. This process was necessary to correctly estimate the weight of the metallic components in the fractions. This procedure was also followed for non-ferrous metals. The possible changes in particle size after slag removal were monitored. Because the BA being aged for 3 months in atmospheric conditions, all ferrous metallic particles are corroded. Moreover, small metallic particles might have decomposed completely due to this corrosion, which could explain the dramatic decrease in Fe in the small-size fractions.

Non-ferrous metals (NFe), identified according to colour and ductility, predominantly aluminium ingots and copper wires, occurred chiefly in fine fractions, Figure 1. Their amount slightly decreased with increasing particle size. The decrease in NFe metallic items in the BA with increased particle size has previously been detected (Šyc et al. 2018, Valle-Zermeño et al. 2017). According to Šyc et al., NFe particles smaller than 10 mm comprise up to 60 wt% of the total NFe in BA (Šyc et al. 2018). Valle-Zermeño et al. have reported that NFe metals were almost non-existent in the >16 mm size fraction (Valle-Zermeño et al. 2017).

Glass is one of the largest fractions of the BA, it can be up to a quarter of the total BA weight. The main sources of glass in the BA are domestic items such as bottles, glasses containers and window glass. This primary glass remains unchanged during incineration due to its higher melting point. Glass is recyclable and, therefore, 100% of glass can be recycled repeatedly. Despite the historical availability of separate glass rubbish collection in most countries, BA contains a significant amount of primary glass particles. However, glass does not generate heat during incineration (Valle-Zermeño et al. 2017). In Finland, packaging glass is collected separately, but some glass waste is generated, e.g. in households, which is often put in the mixed waste bin (Anon a). According to the present analysis, the glass content increased with the size fraction increase thereby showing a maximum 8–10 mm fraction, and then decreased in the coarse fraction, 10–16 mm. The same trend was reported in other works (Chimenos et al. 1999, Wouw et al. 2020). Yet, according to Wouw et al., the amount of glass continued to decrease in the 16–22.4 and 22–31.5 mm fractions. The large amounts in the small-size fractions can be attributed to the brittleness of glass: Large pieces of glass going through some pre-crushing and handling are broken into smaller pieces (Wouw et al. 2020). Large particles can also be broken due to thermal shock in the incinerator (Chimenos et al. 1999). Sieving showed that the average amount of glass in the BA was approximately 8 wt%.

In contrast, the largest portion of ceramic materials was found in the coarse fractions. This result can be explained by their capability to survive incineration due to high resistance to mechanical and thermal shocks (Chimenos et al. 1999, Wouw et al. 2020). The same results have been reported by Šyc et al. and Valle-Zermeño et al. (Valle-Zermeño et al. 2017). Valle-Zermeño et al. have reported that the ceramics content gradually increased with increasing size fraction, achieving 65–72 wt% of the total weight of the >16 mm coarse fraction (Valle-Zermeño et al. 2017). Wouw et al. reported that a large amount of ceramics, up to 42 wt%, was present in the 16–22.4 mm size fraction. However, the smaller fractions contained approximately equal amounts, approx. 28 wt% for each (Wouw et al. 2020). In the present study, the average amount, approximately 10 wt%, was similar to that reported by Šyc et al. but significantly lower than that reported by Valle-Zermeño et al. and Wouw et al. (Šyc et al. 2018, Valle-Zermeño et al. 2017, Wouw et al. 2020).

Slag is the main component of BA, accounting for 50% to 70% of the total mass of BA (Šyc et al. 2020). Slag results from melting waste into a viscous melt followed by rapid cooling (Eusden et al. 1999, Silva et al. 2017). The slag matrix may contain inclusions, typically metals, minerals and glass pieces trapped during incineration. Thus, slag containing ferrous material, e.g. metallic particles embedded in the slag matrix, can be identified and separated using a magnet. This portion of the slag is referred to as magnetic slag or M-slag. Its magnetic property is caused by iron species, probably by iron oxide (Šyc et al. 2018). The non-magnetic secondary glass is referred to as slag (Wouw et al. 2020). In this study, the M-slag was separated using a hand magnet which was moved 1 cm above the material. The total amounts of slag and M-slag were approximately 35 wt% for both; however, correlations between the slags and size fractions can be seen. Thus, coarse fractions rich in ceramics and ferromagnetics have smaller amounts of slag.

MORPHOLOGY AND ELEMENTAL ANALYSIS

Slag morphology and chemical analysis were examined using a scanning electron microscope capable of energy dispersive spectroscopy (SEM-EDS). A micrograph of a fractured slag particle is shown in Figure 2. The grain has an irregular shape with a rough surface texture (intact surface), and high internal porosity (fractured side) can be observed. As was already said, slag is the melt product formed during the melting process followed by cooling, typically wet quenching. Because of the rapid cooling, a major part of the BA slag has a fractured structure and contains pores. Such structure originated from the escape of gases during melting and quenching (Hykš & Hjelmar 2018). Yet, BA particles are covered with a mineral layer, so-called quenching products, which are synthesised and precipitated during the wet cooling procedure. In Figure 2, the intact side is covered with mineral crystals, Figure 2B, whereas the fracture side is almost clean, Figure 2C. The high porosity of the quenching layer is typically responsible for the high specific surface area values, measured with the Brunauer–Emmett–Teller (BET) method. It has been reported that the specific surface area of BA particles after milling was reduced due to the peeling off of the porous quenching layer (Loginova et al. 2021).

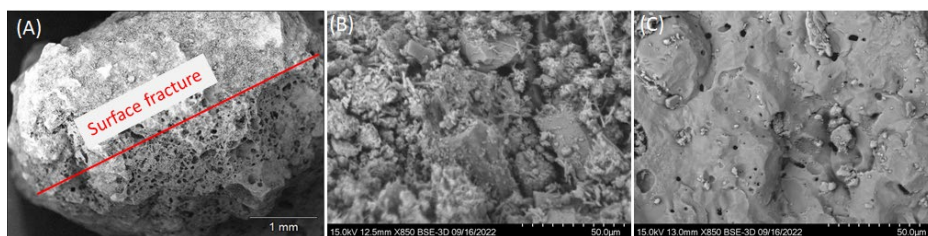


FIGURE 2. Micrograph of a BA grain after jaw crusher milling: (A) fracture surface, (B) initial surface covered with quenching products and (C) surface formed during crushing (Photo Irina Turku and Svetlana Butylina).

SEM-EDS is a non-destructive method that provides an estimate of the chemical composition of a material. Along with SEM-EDS, other techniques, such as inductively coupled plasma (ICP) and X-ray fluorescence (XRF) spectroscopy as well as X-ray diffraction (XRD), are typically applied in BA analysis. The benefit of SEM-EDS is the accompanying greyscale imaging of the studied surface (Figures 2, 3). The results of the elemental analysis are shown in Table 1. As was expected, Si, Ca, Al and Fe were the most abundant elements in the slag. According to other extensive data published previously, SiO_2 , Al_2O_3 , CaO and Fe_2O_3 are the chief components, accounting for around 88% of BA (Tang et al. 2015, Bayuseno et al. 2010, Wei et al. 2011). Large amounts of oxygen were also detected, up to 50 wt%, due to all the elements in BA present in conjugation with oxygen as part of the silicates (melilites, pseudowollastonite), non-silicate (spinel) and Ca-rich mineral phases present in BA (Wei et al. 2011, Cheeseman et al. 2003). The analysis also indicated many other minor elements. The metallic and non-metallic elements can be incorporated into minerals, form alloys or exist as inclusions embedded in slag silicate matrix (Wei et al. 2011). The analysed toxic elements, Cu, Zn and Cl, are normally detected in BA and their presence restricts BA use due to environmental concerns (EU 2003). Table 1 also summarises the elemental analysis data for BA taken from other sources. As provided in this study, the EDS analysis is in agreement with the previously published data. Using the EDS mapping image option, Figure 3 shows the distribution of elements on the sample surface.

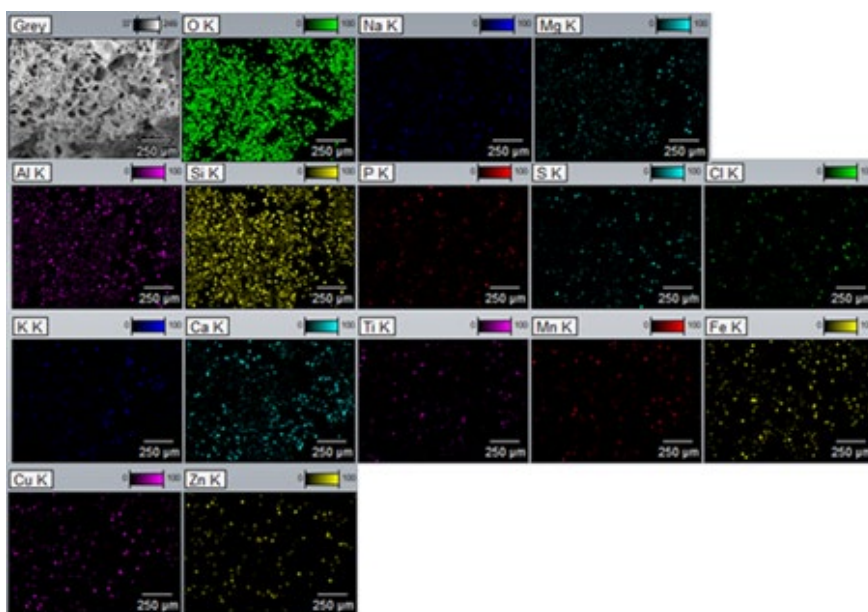


FIGURE 3. Bottom ash SEM-EDS measurements, individual map for each detected element in the target area of the sample. Scale: 250 µm (Photo Irina Turku and Svetlana Butylina).

TABLE 1. Elemental composition of BA slag. Standard deviation in parentheses.

| Element | Si | Ca | Na | Al | Fe | Mg | K | Cl | P | S | Ti | Mn | Cu | Zn |
|---------|-----------|----------|----------|---------|---------|----------|----------|-----------|-----------|----------|-----------|-----------|-----------|------------|
| C, wt% | 18.5(6) | 12.3(5) | 3.1(1.7) | 7(2.3) | 3(1.9) | 1.5(0.6) | 1.3(0.3) | 0.67(0.7) | 0.4(0.08) | 1.2(0.1) | 0.77(0.4) | 0.2(0.1) | 0.53(0.6) | 0.61(0.4) |
| C, wt%* | 14.9/29.0 | 6.6/16.3 | 0.8/4.7 | 2.5/7.5 | 1.5/8.9 | 0.5/2 | 0.36/2.2 | 0.12/0.64 | 0.29/1.3 | 0.13/0.8 | 0.32/0.8 | 0.05/0.28 | 0.07/0.59 | 0.038/0.62 |

*min/max values (Nesterov et al. 2010)

CONCLUSIONS

The material and chemical analysis of bottom ash from Fortum Waste Solution Oy was conducted. It was detected that BA composition highly depends on the particle size fraction, varying between 1-11 wt% for Fe, 0-3 wt% for NFe, 2-35 wt% for ceramics, 3-16 wt% for glass and 20-56 wt% for slags. From the recycling perspective, for non-ferrous metals, fine-size fractions of < 8 mm are of the greatest interest. Here, the concentration is twice as high as in the coarse fractions. The opposite situation is with ferrous metals and, therefore, they are chiefly found in the large-size fractions of BA. A significant amount of primary glass is present in BA despite the long history of glass recycling programmes. A slightly larger amount of glass is detected in the 8–10-mm fraction. The conditions of the glass particles in different size fractions are different. In fine fractions, it is mostly sphere-like and often covered with slag and mineral layers, making them difficult to recognise. In coarse fractions, flat glass fragments are often present, translucent, sometimes partially melted, easily detectable. The morphology of slag particles was inspected with SEM. It was shown that slag particles are covered with a thin layer of quenching products; a porous structure of the particles was observed. Elemental analysis of BA using EDS showed the presence of chemical elements that are typically composed of incinerated bottom ash slag.

REFERENCES

Anon a: www.svkk.fi/finrusrecycling/municipal-solid-waste/recycling-and-recovery/pahvi/

Bayuseno, A.P. & Schmahl, W.W. 2010. Understanding the chemical and mineralogical properties of the inorganic portion of MSWI bottom ash. *Waste Management* 30, 2010, 1509–520.

Cheeseman, C.R., Makinde, A. & Bethanis, S. 2005. Properties of lightweight aggregate produced by rapid sintering of incinerator bottom ash. *Resources, Conservation and Recycling*, 43, 2005, 147–162.

Chimenos, J.M., Segarra, M., Fernandez, M.A. & Espiell, F. 1999. Characterization of the bottom ash in municipal solid waste incinerator. *Journal of Hazardous Materials*, 64, 1999, 211–222.

EU, 2003. Council decision of 19 December 2002 establishing criteria and procedures for the acceptance of waste at landfills pursuant to Article 16 of and Annex II to Directive 1999/31/EC. European Council. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=cellex%3A32003D0033>

Eusden, J.D., Eighmy, T.T., Hockert, K., Holland, E. & Marsella K. 1999. Petrogenesis of municipal solid waste combustion bottom ash. *Applied Geochemistry*, 14, 1999, 1073–1091.

Huber, F., Blasenbauer, D., Aschenbrenner, P. & Fellner, J. 2019. Chemical composition and leachability of differently sized material fraction of municipal waste incineration bottom ash. *Waste Management*, 95, 2019, 593–603.

Hykš, J. & Hjelmar, O. (2018). Utilisation of Incineration Bottom Ash (IBA) from Waste Incineration. Prospects and limits. Removal, treatment and utilisation of waste incineration bottom ash. *Vivis*, 2018, 11–24.

Loginova, E., Schollbach, K., Proskurin, M. & Brouwers, H.J.H. 2021. Municipal solid waste incineration bottom ash fines: Transformation into a minor additional constituent for cements. *Resources, Conservations & Recycling*, 166, 2021, 105354.

Nesterov, I., Jensen, P.A. & Dam-Johansen, K. Literature review – Incineration bottom ash leaching properties. Available: www.osti.gov/etdeweb/servlets/purl/1035233 [referred 6.10.2022]

Silva, R.V., Britoa, J., Lynn, C.J. & Dhir, R.K. 2019. Environmental impacts of the use of bottom ashes from municipal solid waste incineration: A review. *Res. Conv. Rec.*, 140, 2019, 23–35.

Šyc, M., Krausová, A., Kamenáková, P., Šomplák, R., Palvas, M., Zach, B., Pohořely, M., Svoboda, K. & Punčochář M. 2018. Material analysis of bottom ash from waste-to-energy plants. *Waste Management*, 73, 2018, 360–366.

Šyc, M., Simon, F.G., Hyks, J., Braga, R., Bigansoli, L., Costa, G., Funari, V. & Grosso, M. 2020. Metal recovery from incineration bottom ash: State-of-the-art and recent developments. *Journal of Hazardous Materials*, 393, 2020, 122433.

Tang, P., Florea, M.V.A., Spiesz, P. & Brouwers, H.J.H. 2015. Characteristics and applications potential of municipal solid waste incineration (MSWI) bottom ashes from two waste-to-energy plants. *Construction and Building Materials*, 83, 2015, 77–94.

Valle-Zermeño, R., Gómez-Manrique, J., Giro-Paloma, J., Formosa, J. & Chimenos, J.M. 2017. Material characterization of the MSWI bottom ash as a function of particle size. Effect of glass recycling over time. *Science of the Total Environment*, 581–582, 2017, 897–905.

van de Wouw, P.M.F., Loginova, E., Florea, M.V.A. & Brouwers, H.J.H. 2020. Compositional modeling and crushing behaviour of MSWI bottom ash material classes. *Waste Management*, 101, 2020, 268–282.

Vateva, I. & Laner, D. 2020. Grain-size specific characterization and resource potential of municipal solid waste incineration (MSWI) bottom ash: A German case study. *Resources*, 9, 2020, 66–91.

Wei, Y., Shimaoka, T., Saffarzadeh, A. & Takahashi, F. 2011. Mineralogical characterization of municipal solid waste incineration bottom ash with an emphasis on heavy metal-bearing phases. *Journal of Hazardous Materials*, 187, 2011, 534–543.

ROBOTIIKKA TAIMITUOTANTOON JA MEKANIIKAN NOPEA TUOTEKEHITYS 3D-TULOSTUKSEN AVULLA

Elina Havia & Eetu Huttunen & Elmar Bernhardt & Henri Montonen & Hannu Leinonen & Mikko Tikkinen & Saira Varis & Sakari Välimäki

Kasvullisen lisäyksen ansiosta voidaan tuottaa korkealuokkaista ja tunnettuja ominaisuuksia sisältävää, tasalaatuista metsän uudistusmateriaalia eri käyttötarkoituksiin.

Kuusen alkiomonistusmenetelmää kehitettiin kohti sellaista massatuotannon mittakaavaa, jossa tuotantomäärät vastaavat käytännön metsätaimituotannossa varteenotettavia taimikasvatuseriä. Erityisesti paneuduttiin alkiomonistuksen loppuvaiheisiin (maljoilla tapahtuva in vitro -idätys ja taimien jatkomenestys) ja niiden automatisointiin. Edellä mainittujen vaiheiden sujuvuutta pyrittiin edistämään kehittämällä myös kasvullisen lisäyksen tuotantomenetelmän aiempia työvaiheita. Nykyisessä käsityövaltaisessa menetelmässä suurin tuotannollinen pullonkaula on juuri näissä työvaiheissa. Alkionpoimintarobotin prototyyppiä ja siihen kiinteästi liittyviä työvaiheita pyrittiin kehittämään sellaisiksi, että solukkotaimet menestyvät myöhemmissä kehitysvaiheissaan ja robotin poimintakapasiteetti olisi kilpailukykyinen käsin toteutettavaan alkioiden poimintaan nähden.

Alkionpoimintarobotin osien ja toiminnallisuuksien kehityksessä hyödynnettiin nopeaa tuotekehitystä 3D-tulostuksen avulla.

JOHDANTO

Kasvava metsäbiotalous tarvitsee entistä suurempia puumääriä, ja laadukkaan raaka-aineen kysyntään voidaan vastata uusilla korkean osaamisen ja teknologian mahdollistavilla taimituotantomenetelmillä.

Automaatio-, sensori- ja prosessiteknologisia ratkaisuja kehitettiin eliittitaimien massatuotantojärjestelmän liiketoiminnan mahdollistamiseksi. Xamk/3K-tehdas jatkoi aiemmin kehitetyn robotiikan prototyyppin kehittämistä, jota Luonnonvarakeskus (Luke) testasi ja arvioi nojautuen syväosaamiseensa eliittitaimien tuotannossa. Kehitetty robotti soveltuu erityisesti kuusen alkioiden lajitteluun, joita voidaan tuottaa alkiomonistusmenetelmällä. Kasvulli-

sella lisäyksellä voidaan tuottaa korkealuokkaista ja tunnettuja ominaisuuksia sisältävää, tasalaatuista metsän uudistusmateriaalia eri käyttötarkoituksiin. Kuusen taimituotannon pullonkaulana on vuosittain vaihteleva siementuotanto, ja kehitetty menetelmä osaltaan voi vastata tähän haasteeseen. Tavoitteena oli saada kehitetyn menetelmän prototyyppi käytännön testeihin sekä kehitystyön ohella selvittää menetelmän kaupallista potentiaalia.

Kehitystyö toteutettiin Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulun Xamkin Elektroniikan 3K-tehtaan sekä Luonnonvarakeskuksen Savonlinnan yksikön hankkeessa RoboSE – *Taimituotannon automaation kehittäminen* (4/2020–9/2021) ja työtä jatketaan hankkeessa AiMBRYO – *Keinoälyn hyödyntäminen kuusen solukkotaimien idätyksessä ja saannon maksimoinnissa* (4/2022–9/2023). Hankkeita rahoittivat Euroopan aluekehitysrahasto Etelä-Savon maakuntaliiton kautta, toteuttajat ja Savonlinnan kaupunki.

ROBOTIIKAN KEHITYS

ENSIMMÄINEN ROBOTTI JA KEHITYS SEN POHJALTA ETEENPÄIN

Pilot-mittakaavan robottilaitteistosta oli tarve kehittää uusi prototyyppiversio, jolla päästäisiin lähemmäksi käytännön taimituotannon mittakaavaa. Tuotantomääriä oli tavoitteena kasvattaa ja tahtiaikaa nopeuttaa ilman negatiivista vaikutusta taimien laatuun. Kuusen alkioiden idätyskapasiteettia tuli kasvattaa kustannustehokkaasti ja saada robotiikka käytännön testeihin kuusen eliittitaimien tuotannossa.

Alkioiden poimintalaitteistoa oli tarve kehittää kohti käytännössä hyödynnettävää laitetta, jolla on edellytykset korvata käsin toteutettavaa poimintaa. Robotin tuottavuutta oli tarve parantaa kasvattamalla robotin nopeutta ja toimintavarmuutta. Robottia oli tarve kehittää monikäyttöön soveltuvaksi siten, että yhden robottien valvojan on mahdollista valvoa useampaa robottia.

Robotin kokoa oli tarve pienentää, jotta robotin vaatima puhtaan tilan pinta-ala laminaarissa pienenee. Laminaaritila on kallista, joten mitä pienempi robottien koko on, sitä enemmän robotteja mahtuu samaan tilaan. Pienemmällä robottikoolla saavutetaan tilatehokas ja tarvittaessa helposti liikuteltavissa oleva ratkaisu. Lisäksi prosessi nopeutuisi lyhyempien liikeratojen ansioista. Akseliyhjauksen luotettavuutta oli tarvetta parantaa ja laadunkuvauskameroiden prosesseja tarve nopeuttaa.

Poimintapään huoltovarmuutta ja poimintaneulan vaihdettavuutta oli tarve parantaa sekä kehittää toimintavarmuutta erilaisilla teknisillä ratkaisuilla. Käyttöliittymää oli tarve kehittää käyttäjäystävällisemmäksi ja paremmin tuotantoympäristöön soveltuvaksi.

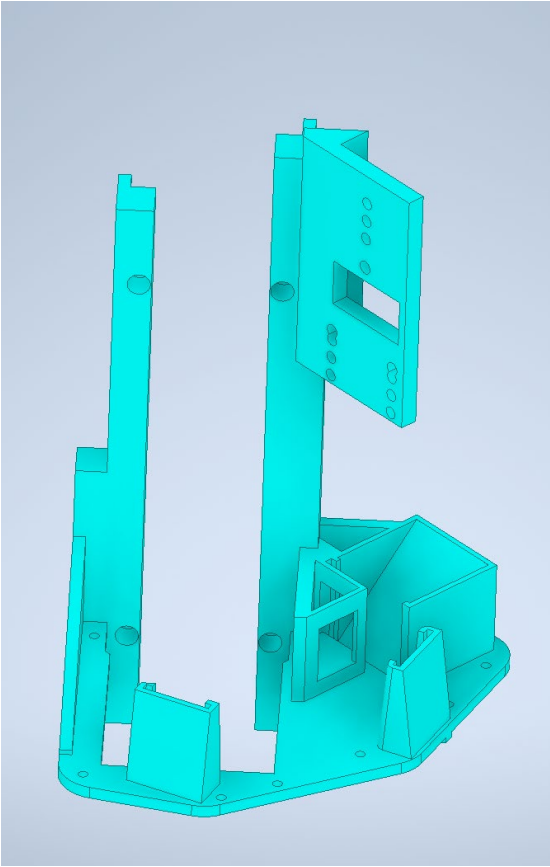
”RAPID PROTOTYPING” JA 3D-TULOSTUS

Tässä laitekehitysprojektissa tiedettiin tarvittavan useita erikoisosia laitteen haluttujen toimintojen aikaansaamiseksi. Kyseisiä osia päädyttiin valmistamaan 3D-tulostamalla, koska Elektroniikan 3K-tehtaalle oli hankittu aiemmin kattava laitekanta erilaisia 3D-tulostimia. 3D-tulostus huomioitiin jo osia suunniteltaessa ja pyrittiin hyödyntämään 3D-tulostuksen mahdollisuuksia ja ottamaan huomioon valmistusmenetelmän asettamat rajoitteet. Projektissa valmistettu robottilaitteisto koostui kahdesta laitteesta, jotka yhdessä muodostavat toimivan kokonaisuuden. 3D-tulostusta hyödynnettiin tässä projektissa 40 erilaisessa osassa, ja yhteensä tulostettuja osia yhteen laitteistoon tuli 62 kappaletta. Ainoastaan yksi osa näistä hankittiin talon ulkopuolisen 3D-tulostuspalvelun kautta osan suuren koon vuoksi.

Projektin aikataulun vuoksi tuotekehitystä oli pystyttävä tekemään joustavasti. 3D-tulostus soveltuu hyvin nopeaan tuotekehitykseen. Yleisemmin nopeasta tuotekehityksestä tai nopeasta prototyyppien valmistuksesta käytetään nimitystä ”rapid prototyping”. Rapid prototyping -termillä tarkoitetaan nopeasti valmistettavia prototyyppijä ja tämän avulla tuotekehitysvaiheen tehostamista, nopeuttamista ja kustannustehokasta siirtymää kohti sarjavalmistusta. (Kuang-Hua Chang 2015) Tämän projektin tuotekehitysvaiheessa prototyyppien valmistuksen nopeus oli erittäin tärkeää erikoisosien ja niiden toiminnallisuuksien kehityksessä. Tämän laitteen kehityksen aikana parhaimmillaan pystyttiin valmistamaan muokattuja ja paranneltuja osien prototyyppijä useita saman päivän aikana. Projektin suurimpien osien tulostusajat olivat noin 20 tuntia/osa. Kuitenkin voidaan todeta 3D-tulostuksen tehostaneen tämän projektin toteutusta merkittävästi, ja koska 3D-tulostuslaitteisto oli saman talon sisällä, nopeutti se protokappaleiden ”toimitusaikaa” merkittävästi.

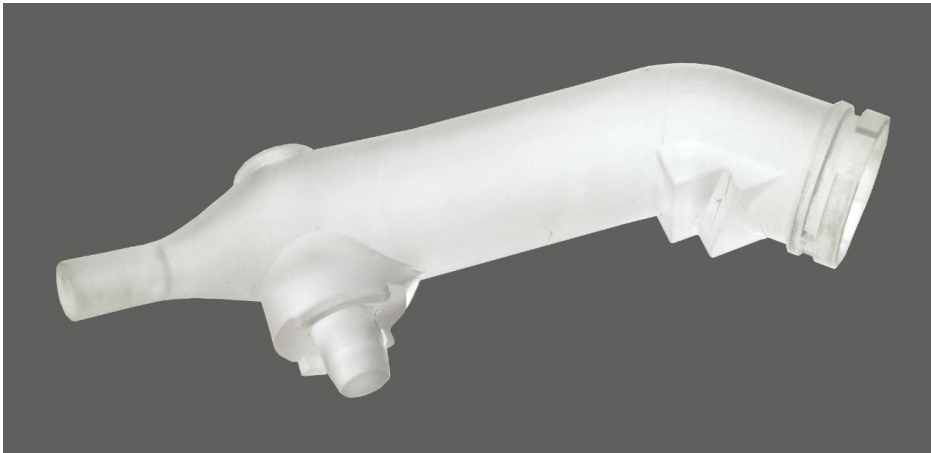
Seuraavaksi tarkastellaan tämän laitekehitysprojektin 3D-tulostuksen avulla saavutettuja etuja ja osien kehitysvaiheita muutaman laitteistoihin kuuluvan esimerkkiosan avulla.

Robottiin valmistettiin 3D-tulostustekniikkaa hyödyntäen teollisuuskameroiden optiikan pidikeosat, jotka vaativat erityistä tarkkuutta. Optiikan pidikeosan tuli myös toimia runkona usealle erilliselle osalle, joten sen tuli olla tämän vuoksi rakenteeltaan tukeva. Optiikan pidikeosat valmistettiin hyödyntäen DLP (digital light processing) -teknologiaa eli allasvalokovetusta. Tässä 3D-tulostusteknologiassa etuna on sen hyvä tarkkuus. Allasvalokovetuksessa valmistuvan kappaleen muodostuminen perustuu valon avulla tapahtuvaan nestemäisen resiniin/hartsin kovetukseen. Kappale valmistuu kerros kerrokselta laitteen hartsisäiliön pohjan alla olevan valoa muodostavan näytön kuvan mukaisesti. (All3DP, 2018) Kuvassa 1 on esitettyä yksi robotin optiikan pidikeosa. Nämä osat valmistettiin Henkel loctite 3843 -materiaalista, jonka erityisominaisuutena on hyvä mekaaninen kestävyys. Lisäksi optiikkaosille ja kameran salamavalon suojaksi ja kohdentamiseksi valmistettiin kotelorakenne samasta materiaalista DLP-tulostusteknologialla.



KUVA 1. Teollisuuskameroiden optiikan pidikeosa (kuva 3K-tehdas).

Robottilaitteistoon tarvittiin myös ”roskakori”, jonka vaatimuksena materiaalin osalta oli autoklavoitavuus, eli käytännössä sen tuli olla puhdistettavissa toistuvasti useita kertoja autoklaavilla. Toisena vaatimuksena tässä osassa oli myös tarkkuus, koska tarvittiin sihtityyppinen ratkaisu roskakorin kuppiosan pohjaan. Tähän osaan materiaaliksi valikoituikin VeriGuide OS 71175, joka on suunniteltu terveydenhoitoalan tarpeita varten ja erityisesti hammaslääketieteen sovelluksiin. Kuitenkin kyseinen materiaali soveltui hyvin myös tähän käyttötarkoitukseen juuri sen autoklavoitavuuden vuoksi. Tarkkuusvaatimusten vuoksi nämäkin osat valmistettiin allasvalokovetusteknologialla. Kuvassa 2 on esitettyinä roskakorin varsiosa ja kuvassa 3 roskakorin kuppiosa. Osassa on erittäin tarkka sihtiratkaisu, jossa sihtiosan reikien koko halkaisijaltaan on vain 0,5 millimetriä.



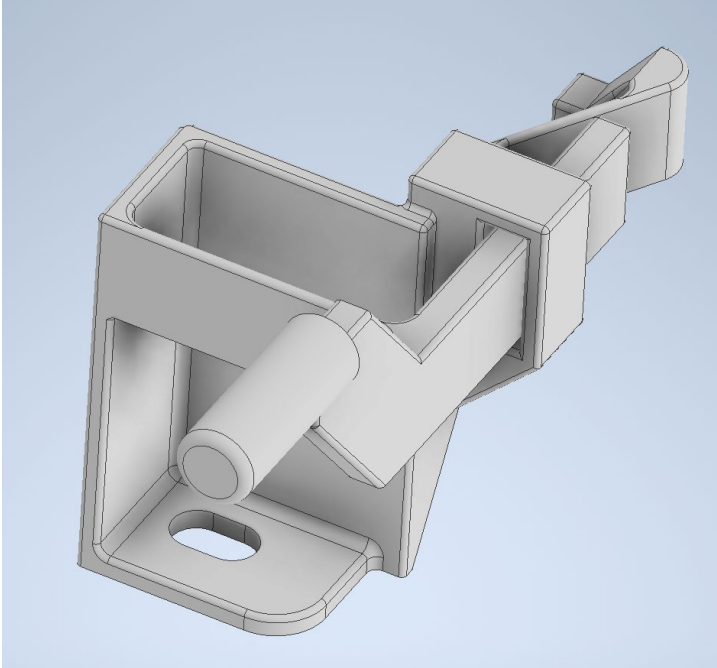
KUVA 2. Roskakorin varsiosa (3D-tulostettu osa kuvassa) (kuva Mari Rasku).



KUVA 3. Roskakorin kuppiosa, jonka pohjalla sihti (3D-tulostettu osa kuvassa) (kuva Mari Rasku).

Yhtenä haasteena laitteessa oli sen käynnistysnäppäimen sijainti laitekotelossa. Tätä varten suunniteltiin 3D-tulostuksen mahdollistamien rakenteiden mukainen käynnistyspainikkeen suunnanvaihtajaosa, jonka avulla saatiin siirrettyä käynnistyspainike helpommin käytävään kohtaan laitteen kotelossa. Kuvassa 4 nähdään tämän osan 3D-malli, josta voidaan havaita, kuinka painikkeen suunniteltu rakenne muuttaa painalluksen avulla liikkeen 90 asteen kulmaan. Tämä osa valmistettiin *Minifactory Ultra 3D*-tulostimella. Tämä tulostin on FFF-tekniikan (Fused Filament Fabrication) laite, eli se valmistaa kappaleet lankamai-

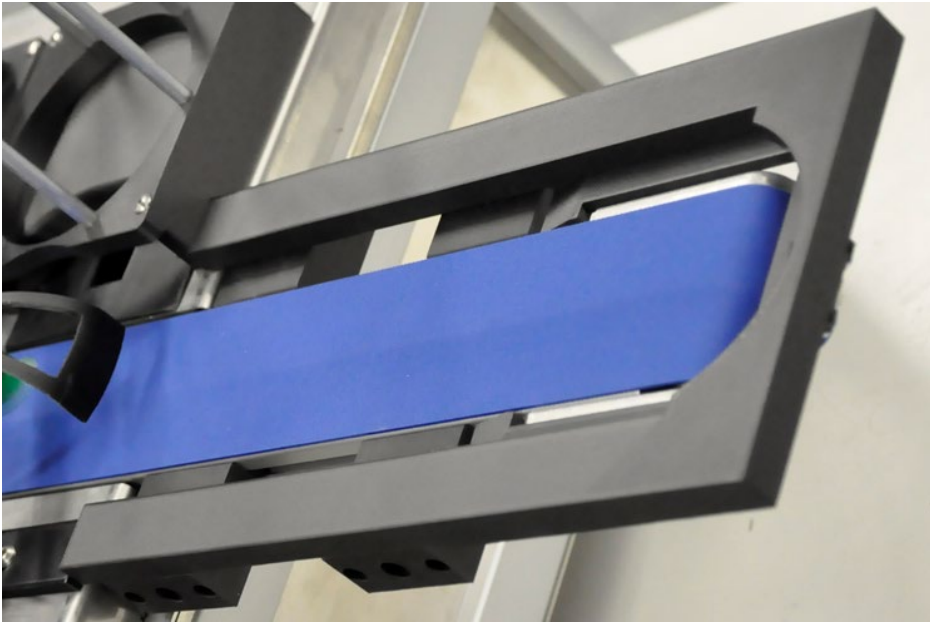
sesta tulostusmateriaalista kerros kerrokselta pursottamalla 3D-mallin mukaisesti. Tämä osa valmistettiin PA 6/66 -materiaalista, joka on PA6- ja PA6.6-Nylon-laatujen sekoitus. Kyseinen Nylon-laatu valikoitui materiaaliksi, koska tässä osassa tarvittiin joustavuutta, jotta painike toimisi halutulla tavalla.



KUVA 4. Käynnistysnäppäin-osa (kuva 3K-tehdas).

Robotin laitteiden välillä petrimaljojen siirtoa varten hyödynnettiin liukuhihnaratkaisua. Liukuhihnan ympärille täytyi myös valmistaa erityiset ohjaimet, jotka varmistivat petrimaljojen liikkumisen oikein. Ensimmäiseen protoversioon nämä valmistettiin paksusta muovilevystä leikkaamalla ja kiinnitettiin yhteen usealla ruuvattavalla kiinnikkeellä. Tämä osa päätettiin kuitenkin seuraaviin versioihin korvata 3D-tulostetulla osalla. Ensimmäisessä 3D-tulostetun osan versiossa tämä ratkaisu koostui kolmesta erillisestä osasta, jotka kiinnitettiin toisiinsa ruuvattavilla kiinnikkeillä ja 3D-tulostettuun muoviosaan tulevilla kierreinserteillä. Kuitenkin tämän ratkaisun todettiin olevan hidas kokoonpanon kannalta. Lisäksi liukuhihnan päätyyn tuleva optinen anturi ja sen johdin haluttiin integroida osaan. Ohjain päädyttiin suunnittelemaan yhdeksi osaksi ja anturin johdin saatiin siirrettyä piiloon osan sisälle suunniteltuun johdinkäytävään. Kuvassa 5 nähdään lopullinen osa, ja tässä toteutuksessa vähennettiin osien määrää kolmesta osasta yhteen osaan ja kiinnikeruuveja säästettiin kahdeksan kappaletta sekä samalla ratkaistiin optisen anturin johtimen kiinnitysongelma. Tämä lopullinen osa onkin hyvä esimerkki siitä, miten 3D-tulostuksen avulla voidaan säästää niin osia kuin kiinnikkeitäkin sekä integroida esimerkiksi johdinkäytävä

osaksi samaa osaa. Tämä osa valmistettiin *Markforged Mark Two -3D*-tulostimella Onyx-materiaalista, joka on Nylon-pohjainen ja sisältää pätkittyä hiilikuitua vahvistavana elementtinä. Kyseisellä tulostimella valmistettiin eniten lopullisia osia tässä laitekehitysprojektissa.



KUVA 5. Ohjainosa liukuhihnan ympärillä (3D-tulostettu osa kuvassa) (kuva Mari Rasku).

UUSIMMAT ROBOTIT

Uuden robottimallin ominaisuudet: Uutta robottimallia suunniteltaessa kiinnitettiin huomiota erityisesti mekaniikan, kameratekniikan ja ohjelmiston kehitykseen sekä laitteen käyttöturvallisuuteen ja ergonomiaan. Työasennot ja laitteistossa tarvittavien kaapelien ja letkujen sijoittelu huomioitiin suunnittelussa.

Robotin yhteyteen toteutettiin maljamanipulaattori, joka vaihtaa ja syöttää automaattisesti uuden petrimaljan aiemman täyttyneen maljan tilalle. Maljamanipulaattori lisää robotin käyttöturvallisuutta. Maljat vaihtuvat automaattisesti ilman, että robottien valvoja puuttuu robottien toimintaan niiden työskentelyalueella. Laitteen toiminnan katkaiseva valoverho suunniteltiin robotin toiminta-alueelle.

Ohjelmistokehitys: Paimintarobotin ohjelmistokehityksen tavoitteena oli kehittää järjestelmän käytettävyyttä ja toimintavarmuutta, nopeuttaa prosessia ja erityisesti saavuttaa alkiovalinnan onnistumisprosentissa riittävän korkea taso.

Ohjelmointityön tärkeimmät kehityskohteet olivat käyttöliittymän ja konenäköjärjestelmän välisen rajapinnan kehittäminen, luotettavan akseliyhjauksen toteuttaminen EtherCatilla sekä IO-komponenttien ohjaus. Lisäoptiona toteutettiin prototyypin etäohjaus.

Käytössä olevan ohjelmiston kehitys toteutettiin Labview-ohjelmointiympäristössä. Alkioiden tunnistusalgoritmi on toteutettu Matrox DAX Design Assistantilla. Robotin manuaalisen ohjaamisen lisäksi myös automaattiajo pystyttiin ottamaan käyttöön. Testausjaksoilla sekä manuaalinen että automaattinen ajo todettiin toimiviksi.

Toteutettu automaattinen kuva-analyysi on raportointihetkellä toteutettu perinteisillä konenäkömenetelmillä, mutta arvioidaan, että neuroverkkoihin perustuvalla toteutuksella kuvantunnistukseen olisi saatavissa mahdollisesti merkittävää lisäarvoa.

Mekaniikan ja kamerajärjestelmän kehitys: Poimintarobotin mekaniikan kehityksessä tavoitteena oli protolaitteen koon pienentäminen ja poimintapään parantaminen sekä tahtiajan nopeuttaminen ja toimintavarmuuden parantaminen. Aiemmasta protolaitteen kehitysversiosta saadut käyttäjäkokemukset hyödynnettiin ja niiden perusteella parannettiin ja tehostettiin robotin integrointiaistetta. Vertailukohtana käytettiin robotin ensimmäisellä versiolla saavutettua tasoa sekä toisaalta käsityönä saavutettavaa tasoa.

Kameratekniikan osalta etsittiin markkinoilta soveltuvia teollisuuskameroita, joissa oli ethernet-liitäntä, ja kamerat asennettiin prototyypin versioon 2.0. Kamerat integroitiin poiminta-akselin yhteyteen, jolloin alkio voidaan kuvata ”lennossa” neulan päässä ilman erillistä tarkastuspistettä. Lisäksi kameroille suunniteltiin prismaoptiikka, jonka pidikeosat on valmistettu 3D-tulostustekniikalla. Kameroiden prismaoptiikka on toteutettu triplaoptiikalla. Parannettu kameratekniikka parantaa alkion tunnistusta (monisuuntakuvaus) ja nopeuttaa prosessia merkittävästi (tarpeettomat liikeradat jäävät pois).

Laiterungon kehityksen osalta tavoitteena oli pienempi pohjapinta-ala sekä lyhyemmät liikeradat. Nämä toteutettiin prototyypin versioon 2.0 pienikokoisemmilla akseleilla sekä integroimalla koko ohjausautomaatio laitteen runkoon. Aiempaa parempi kaapelointi toteutettiin laitetilan/alarungon avulla.

Kehitetty pyörivä neulapää todettiin toimivaksi ja hyväksi. Siihen liittyen kehitettiin alipainejärjestelmä, ja tähän liitetty voimakkaampi neulan ulospuhallus auttaa pitämään poimintaneulan puhtaana. Neulanvaihto on aiempaa sujuvampaa.

Kehitettyssä robottiversiossa laaduntarkastuskamerat on sijoitettu osaksi poimintapäätä. Alkio kuvataan useasta suunnasta, jolloin saadaan luotettavampi ja varmempi tunnistus. Tarpeettomia välisiirtoja on jätetty pois, mikä nopeuttaa robotin toimintaa. Alkion kuvaus tapahtuu poimintapisteesä, jolloin poiminnan onnistuminen tulee varmistetuksi välittömästi.

KEHITETYN ROBOTIIKAN TESTAUS JA KÄYTTÖKOKEMUKSET LUKELTA

Kehitetty robotiikka testattiin ja asennettiin laminaariin Luonnonvarakeskuksen tiloihin. Käytännön testauksessa robotilla kyettiin aluksi poimimaan useita maljoja päivätasolla, ja määrä kasvoi robotiikan mekaniikan ja ohjelmiston kehittyessä. Robotin koko on aiempaa pienempi. Kehitystarpeena testi- ja käyttöjaksolla on nähty edelleen robotin tahtiajan kasvataminen sekä toiminta- ja poimintavarmuuden kehitys. Toisaalta tuotantomääriä pystytään kasvattamaan sijoittamalla laminaariin useampi robotti yhden operaattorin ohjaukseen.

Prototyyppiä testattiin säännöllisesti alkionpoiminnassa ja taimisatojen yhteyteen ajoituvissa testauksissa poimitut alkioit idätettiin ja kasvatettiin taimiksi. Kokonaisuudessaan robotilla poimittiin hankkeen aikana joitakin tuhansia alkioita, joista yhteensä noin 2 000 siirrettiin jatkokasvatukseen taimitarhaolosuhteisiin. Toistaiseksi robotilla käsiteltyjen alkioiden kehityksessä ei ole havaittu merkittäviä eroja manuaalisesti käsiteltyihin alkioihin.

Kehitystyön tuloksena robotin koko pieneni ja käytettävyys parani niin ohjelmallisesti kuin laitteistonkin osalta. Idätysten tuottavuutta osaltaan alensi se, että ohjelmistokehitystä toteutettiin samanaikaisesti. Tämä oli kuitenkin ohjelmiston kehityksen näkökulmasta erittäin hedelmällistä, koska kehityskohteet tulivat tässä yhteydessä selkeästi esille ja niihin pystyttiin tarttumaan nopealla aikataululla.

Poimintavarmuuden osalta havaittiin, että prototyyppi hylkäsi huomattavan paljon alkioita, jotka operaattori olisi hyväksynyt idätykseen. Näiden valheellisten huonojen alkioiden oikein luokittelu osaltaan parantaisi tahtiaikaa, koska prosessointiaika hyvillä ja huonoille alkioiden on lähes yhtä nopea.

Robotin prototyyppi kehittyi mekaniikaltaan ja ohjelmistoltaan huomattavasti projektin aikana. Projektin lopussa prototyypin teoreettisessa ja käytännön tahtiajassa on vielä parannettavaa. Verrattain pienillä kehitysaskelilla prototyypistä on kuitenkin mahdollista toteuttaa nopeudeltaan vielä kehittyneempi versio.

YHTEENVETO

Kuusen alkiomonistusmenetelmää kehitettiin kohti massatuotantoa. Erityisesti paneuduttiin menetelmän loppuvaiheisiin (maljoilla tapahtuva in vitro -idätys, taimien jatkomenestys) ja niiden automatisointiin. Nykyisessä käsityövaltaisessa menetelmässä suurin tuotannollinen pullonkaula on juuri näissä työvaiheissa. Alkionpoimintarobotin prototyyppiä ja siihen kiinteästi liittyviä työvaiheita pyrittiin kehittämään sellaisiksi, että solukkotaimet menestyvät myöhemmissä kehitysvaiheissaan ja robotin poimintakapasiteetti olisi kilpailukykyinen käsin toteuttavaan alkioiden poimintaan nähden.

Robotin prototyypin käyttöturvallisuus ja käytön ergonomia pyrittiin huomioimaan suunnittelun ja toteutuksen eri vaiheissa. Lisäksi selvitettiin kehitettyjen ratkaisujen kaupallistamispolkuja.

3D-tulostus sopi laitekehitysprojektin osien valmistukseen hyvin. Osien nopea prototyyppien valmistus mahdollisti osien ja toiminnallisuuksien kehityksen sekä parantelun nopealla aikataululla. Lisäksi 3D-tulostus valmistusmenetelmänä mahdollisti monien osien kohdalla aivan uudentyyppisten rakenteiden hyödyntämisen verrattuna perinteisiin valmistusmenetelmiin.

Robotin prototyyppi kehittyi mekaniikaltaan ja ohjelmistoltaan huomattavasti projektin aikana. Projektin lopussa prototyypin teoreettisessa ja käytännön tahtijassa on vielä parannettavaa. Verrattain pienillä kehitysaskelilla prototyypistä on kuitenkin mahdollista toteuttaa nopeudeltaan vielä kehittyneempi versio.

LÄHTEET

All3DP. 2018. Leo Gregurić. What Is a DLP 3D Printer? – Simply Explained. [viitattu: 1.9.2022] saatavissa: [What Is a DLP 3D Printer? – Simply Explained | All3DP](#)

Kuang-Hua Chang. 2015. Rapid Prototyping. [viitattu: 1.9.2022] saatavissa: <https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/rapid-prototyping>

KIERTOTALOUS KYMENLAAKSON ALUEELLISEN KEHITTÄMISEN KESKIÖSSÄ

Melina Maunula & Marika Hänninen & Jaana Kyhyräinen

Kymenlaakson tutkimus-, kehittämis- ja koulutusorganisaatiot ovat sitoutuneita kiertotalouden innovaatioekosysteemin kehittämiseen ja panostavat yhteistyön edistämiseen kehittämistoimenpiteiden ja soveltavan tutkimuksen vaikuttavuuden lisäämiseksi. Nykytilanne on hyvä, ja tulevaisuuden varalle on kunnianhimoisia suunnitelmia sekä Hyötyvirta-alueelle sijoittuvan kiertotalouden osaamiskeskuksen että virtuaalisen kiertotalousalustan tiimoilta. Tämä artikkeli sisältää katsauksen Kymenlaakson alueellisen kiertotalousekosysteemin nykytilaan ja tulevaisuuden näkyymiin.

JOHDANTO

Verkostomaisen kehittämisen kannalta viime vuodet ovat olleet haasteellisia. Pandemia-olosuhteissa yhteiset tapaamiset saaticka isommat tilaisuudet ovat jäänet vähälle. Samalla olemme oppineet entistä paikkariippumattommiksi: paras yhteistyökumppani ei aina olekaan se lähin. Kiertotaloudessa sijainnilla on kuitenkin merkitystä. Kiertotalousjakeille on yleensä tarkoituksenmukaista löytää käyttökohde kohtuullisen läheltä. Logistiikka ja sen kustannukset ovat oleellinen vaikutin siinä, onko tietyin jakeen hyödyntäminen taloudellisesti järkevää. Alueellisia kiertotalousratkaisuja tukevat esimerkiksi ekoteollisuuspuistot, teolliset symbioosit ja agroekologiset symbioosit. Toisaalta parhaiden käytänteiden etsiminen ja kiertotalousosaaminen kannattaa ulottaa laajasti eri toiminta- ja tutkimusympäristöjen välille.

Kiertotalouteen siirtyminen tukee luontokadon pysäyttämistä ja ilmastovaikutusten vähentämistä. Kiertotaloudessa pyritään pitämään kertaalleen talouden kiertoon otetut materiaalit mahdollisimman korkean jalostusarvon käytössä mahdollisimman pitkään. (Ellen MacArthur foundation 2022.) Kiertotaloutta toimeenpannaan sekä yhteiskunnallisella että yritystasolla, ja nämä linkittyvät vahvasti toisiinsa. Ilman yhteiskunnallisia ohjauskeinoja ja kiertotalouden mahdollistavaa infrastruktuurin ja osaamisen kehitystä ei voida saavuttaa siirtymää kestävään kiertotalouteen. Samalla kiertotalouden toteutuminen edellyttää yritysten innovatiivisuutta ja toimintatapojen muutosta.

MAAILMAN MUUTOS

Ympäristövastuun ja ylipäättään vastuullisuuden merkitys on viime vuosina korostunut. YK:n Kestävän kehityksen globaali toimintaohjelma Agenda2030 sisältää monipuolisesti globaaleja tavoitteita eri vastuullisuuden osa-alueisiin liittyen (Valtioneuvoston kanslia 2022). Ilmastomuutoksen uhkaan ja ympäristön pilaantumiseen vastaavan Euroopan vihreän kehityksen ohjelman tavoitteena on tehdä EU:sta moderni, resurssitehokas ja kilpailukykyinen talous, jossa talouskasvu on erotettu resurssien käytöstä ja saavutetaan kasvihuonekaasujen nettopäästöjen nollassa vuoteen 2050 mennessä (Euroopan komissio 2022). Kansallisen kiertotalousohjelman visio puolestaan on, että hiilineutraali kiertotalousyhteiskunta on menestyvän taloutemme perusta vuoteen 2035 mennessä (YM 2021).

Nyisellään kierrätysaste on EU:ssa 47,8 prosenttia, kun tavoite vuoteen 2030 mennessä on 60 prosenttia. Kierrätysmateriaalin määrä kotimaisessa tuotannossa on EU-maissa keskimäärin 12,8 prosenttia. Suomi ei yllä näiden kummankaan mittarin osalta edes EU-maiden keskiarvoon. (Eurostat 2022)

Silvestrin ym. (2020) mukaan alueelliset ohjaukset ovat avainasemassa kiertotalouden edistämiseksi, sillä kiertotaloustarkastelun tulee käsittää kaupunkimaiset ja maaseutumaiset alueet sekä sallia tarkempi kohdentuminen kuin kansallisen tason ohjaukset mahdollistavat. Myös kiertotalousstrategioiden vaikuttavuuden mittaamisen näkökulmasta alueellisen ja kansallisen tason tarkastelut ovat tärkeitä, ja tähän soveltuvia työkaluja tulee kehittää (Virtanen ym. 2019). On myös todettu, että eri alueille tulisi tunnistaa aluekohtaisia seurattavia indikaattoreita ja ettei alueiden välinen vertailu ole aina helppoa (Avdiushchenko & Zajac 2019).

Kiertotalouden edistämiseksi on hahmoteltu ylätasoon strategioita ja tunnistettu kannustimia ja esteitä kehitykselle. Lisäksi on tehty laajamittaista kansainvälistä tutkimusta, jonka tuloksena on kehitetty teknologioita ja ratkaisuja, joilla voidaan muun muassa pidentää tuotteen käyttöikää, parantaa sen uudelleenkäyttöä ja kierrätettävyyttä sekä korvata neitseellisiä raaka-aineita kiertotalousmateriaaleilla. Tutkimusmittakaavasta ratkaisujen skaalaaminen liiketoimintaan on kuitenkin merkittävä haaste, johon voidaan soveltavan tutkimuksen ja alueellisen tutkimus-, koulutus- ja innovaatio (TKI) -toiminnan kautta tuoda helpotusta.

Pk-yritysten rajalliset kehittämisresurssit ja tiedon hajanaisuus tekevät haasteelliseksi käyttöönottaa kiertotalousratkaisuja käytännössä. Usein kehitys vaatii myös yhteistyöverkoston laajentamista.

Kiertotalouden edistäminen edellyttää eri osaamisalojen yhdyspinnoilla toimimista ja kokonaisnäkemystä. Ratkaisujen käyttöönotto vaatii uuden tiedon omaksumista ja soveltamista omaan toimintaan. Tätä voidaan yritysrajapinnassa tukea nopeiden kokeilujen ja

niiden kautta vahvistuvan dialogisen kehittämissyhteistyön kautta. TKI-toiminnan kautta koulutus- ja aluekehitysorganisaatiot kerryttävät verkostoja ja ylläpitävät korkeaa tietotasoa kiertotalouden ratkaisuista. Toimimalla yritysryhteistyössä näitä voidaan hyödyntää tukemaan alueellista kiertotalouskehitystä.

LÄHTÖKOHDAT KYMENLAAKSOSSA

Kymenlaaksossa kiertotalous kuuluu strategiaan kehittämisen kärkiteemoihin. Tämä näkyy vahvasti myös aluekehitystoimijoiden profileissa: Ympäristö ja kestävyys on yksi Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulun (Xamk) vaikuttavuusstrategian kolmesta kulmakivestä korostaen nimenomaan biokierron osaamista (Xamk 2022a) ja Xamkin bio- ja kiertotalouden tutkimuskeskus BioSammossa on tehty viime vuosina aktiivisesti muun muassa kiertotalousmateriaalien hyödyntämistä soveltavaa tutkimusta. Kouvola aluekehitysyhtiö Kouvola Innovationissa toimii yritysten tukena kiertotalouden asiantuntijatiimi, jonka hanketoiminta tähtää vahvasti kiertotalouden edistämiseen ja Hyötyvirta-konseptin kehittämiseen. Kouvola ammattiopisto Oy:ssä (Eduko) kehitetään vahvasti kiertotalouden opetusta ja kehitetään organisaation kiertotalouskäytänteitä.

Kuluvana vuonna on vietetty Kymenlaakson metsäteollisuuden 150-vuotisjuhlavuotta. Maakunnan teollinen historia vaikuttaa edelleen merkittävästi teollisuuden rakenteeseen ja yritysten toimintaympäristöön. Useat alueen esimerkillisistä kiertotalousyrityksistäkin linkittyvät puun arvoketjuun hyödyntäen sen kiertotalous- ja sivuvirtajakeita. Kymenlaaksossa bio- ja kiertotalous nivoutuvat vahvasti yhteen, ja niitä käsitellään rinnakkain esimerkiksi Kymenlaakson älykkään erikoistumisen strategiassa (Kymenlaakson liitto 2021).

KIERTOTALOUDEN OSAAMISKESKUS

Kymenlaaksossa suunnitellaan kiertotalouden osaamiskeskusta rakennettavaksi Hyötyvirta-alueelle Kouvolaan. KOSKES – kiertotalouden osaamiskeskus hankkeessa Kouvola Innovationin, Xamkin ja Edukon yhteistyössä on hahmoteltu, millaista toimintaa se voisi käsittää. Kymenlaakson liiton Euroopan aluekehitysrahastosta rahoittama hanke toteutettiin 1.3.2020–31.8.2022. (Xamk 2022b)

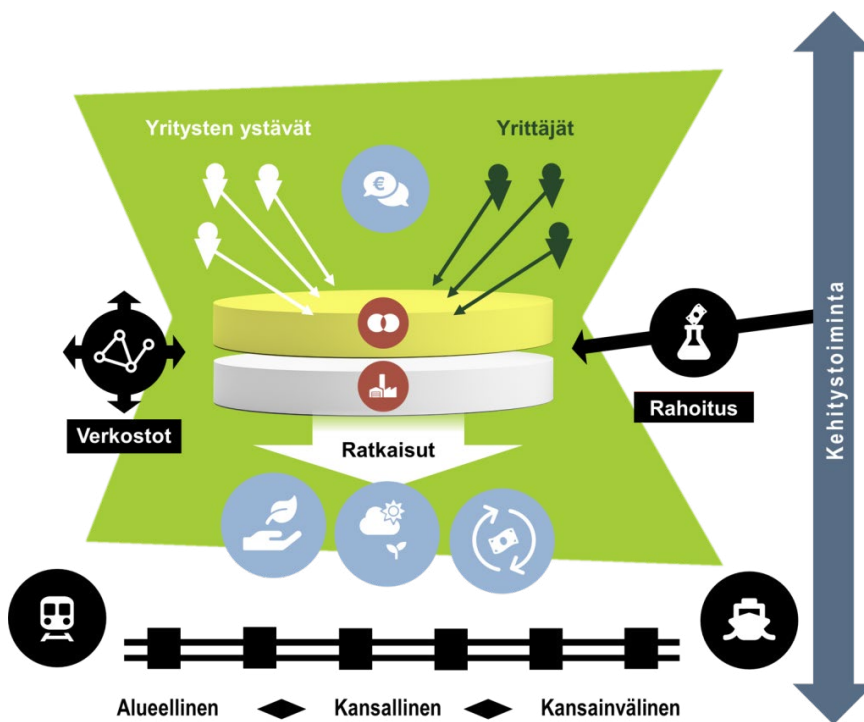
Alustavassa tilojen suunnittelussa pyrittiin siihen, että ne toisivat yhteen kiertotaloustoimijoita ja innostaisivat uuteen kehittämistyöhön. Kuvassa 1 näkyy rakennuksen julkisivu. Essi Walleniuksen suunnittelutyö huomioi eri toimijoiden tarpeet sekä kartoitti mahdollisuuksia hyödyntää Kymenlaaksossa saatavilla olevia kiertotalousmateriaaleja.



KUVA 1. Hyötyvirta-keskuksen sisäänkäynnin suunnitelma (kuva Essi Wallenius 2022)

Lisäksi selvitettiin tutkimus- ja kehittämistoiminnan laite- ja palvelutarpeita, joilla voidaan vastata alueen kehittämistarpeisiin. Hankkeen aikana vahvistui näkemys siitä, kuinka suuri potentiaali alueen toimijoita yhteen tuovalla kehittämissympäristöllä on.

Hyötyvirran osaamiskeskuskonseptointia tehtiin aluekehittämissyhtiön ja koulutusorganisaatioiden kesken. Näiden toimijoiden yhteistyöllä tavoitellaan TKI-panosten ja koulutuksen parempaa kohdentumista yritysten tarpeisiin, soveltavan tutkimuksen entistäkin vahvempaa linkitystä aluekehitysstrategioihin sekä alueen yritysten osaavan työvoiman saatavuuden turvaamista koulutuksen kehittämisen ja koulutuspolkujen rakentumisen kautta. Kaiken kaikkiaan tämä tarkoittaa alueellisen kiertotalouden TKI-toiminnan vaikuttavuuden ja tuloksellisuuden lisäämistä. Uusi toimintaympäristö mahdollistaisi nykyistä syvällisempää yhteistyötä toimijoiden välillä ja soveltavan tutkimuksen ja aluekehitystoimien monipuolistumista palvelemaan yhä useamman yrityksen tarpeita.



KUVA 2. Hyötyvirta-alustakonsepti (Kouvola Innovation 2022)

Hyötyvirran palvelukokonaisuuden tavoitteena on tukea investointi- ja toimintaympäristön kehitystä, lähentää yritysten ja julkisen sektorin prosesseja, mahdollistaa materiaalivirtojen hyödyntämisen ja uusiutuvan energian innovaatioprosesseja sekä tukea älykkään logistiikan ja liikkumisen ratkaisujen käyttöönottoa. Suunnitteilla oleva virtuaalialusta jakaa tietoa, tuo tekijöitä yhteen ja mahdollistaa tehokkaamman tuen yritysten kiertotalouskehittämisen prosesseille etäisyyksienkin päästä tuoden laajempien verkostojen ja näkyvyyden kautta etua kehittämisen keskiössä olevalle Kouvolan Keltakankaalla sijaitsevalle Hyötyvirran yritysalueelle.

Julkisin varoin tuettu TKI-yhteistyö tukee yritysten innovaatiotoimintoja parhaiten kohdentuessaan luontevasti yrityksen sisäisten innovaatiotoimintojen tueksi (Maietta 2015). Yhteistyön tavat ja tavoitteet vaihtelevat sen mukaan, kenen kanssa tai millaisessa verkostossa yhteistyötä tehdään. On tarkoituksenmukaista kehittää kiertotalouden ratkaisuja kiertotalouden yritystoiminnan läheisyydessä ja räätälöidä alueellisiin mahdollisuuksiin. Jotta kiertotalouteen voidaan siirtyä, tarvitaan muutoksia siinä, miten liiketoimintaa organisoidaan ja kehitetään, mutta myös jokapäiväisessä toiminnassa. Alueen koulutus- ja kehittämisorganisaatioilla voi olla tärkeä rooli kiertotalouden osaamisen ja käytäntöjen yleistymisessä. Sisällyttämällä kiertotalousosaamista eri koulutusohjelmiin voidaan edistää kiertotalousosaamisen siirtymistä alueen yrityksiin opiskelijoiden työllistyessä eri tehtäviin. Koulutuksen kehittäminen huomioitiin KOSKES-hankkeessa Edukolle tuotetun Ilmastovastuullinen toiminta -koulutuskokonaisuuden muodossa sekä opinnollista TKI-hanketta Xamkissa.

KOULUTUKSEN ROOLI

Kiertotaloutta kartoitettiin Kouvolan ammattiopisto Edukossa kuten myös laajemmin Kymenlaaksossa. Näiden pohjalta suunniteltiin sekä toteutettiin koulutuskokonaisuus, jonka sisällössä kerrotaan ilmastovastuullisesta toiminnasta, lajittelusta sekä kiertotaloudesta eri koulutusaloilla. Koulutuskokonaisuus toteutettiin hybridimallilla. Koulutusmateriaali koottiin verkkoon, jonka pohjalta ja erilaisten tehtävien kautta toteutetaan oppimiskokonaisuuksia käytännössä työssäoppimispaikoilla tai koululla. Koulutuksen sisältöön kuuluu myös Xamkin Biosammon kanssa yhdessä tehty kokonaisuus, minkä myötä opiskelijoilla on mahdollisuus päästä tutustumaan kiertotalouteen ja Biosammon käytännön toimintaan. Jatkossa, kun osaa-miskeskus aloittaa toiminnan, on vapaaehtoinen harjoittelujakso mahdollista siirtää sinne.

KOSKES-hanke linkittyi Xamkilla erityisesti biotuotemuotoilun amk-koulutukseen, jonka yhteistyössä tehtiin nopeita TKI-kokeiluja kiertotalousmateriaalien hyödyntämisen edistämiseksi. Opiskelijat suunnittelivat Ecoupille maskotin (Haapanen & Maunula 2021) ja BIOKE – Haastavien materiaalien tutkimus ja kierrätyksen edistäminen BioSammassa hankeyhteistyössä pohdittiin poistotekstiilin hyödyntämistä. Hanketoimijat ja opiskelijat kävivät Parik-säätiöllä tutustumassa poistotekstiilin lajitteluun. Sieltä mukaan saatiin polyesteri- ja akryylivaatteita, joista leikatut tilkut hienonnettiin BioSammassa leikkuumyllyn avulla. Silppuaminen onnistui hyvin, mutta tekstiilisolun puristaminen levymäiseksi tuotteeksi ei onnistunut käytössä olevilla laitteilla toivotulla tavalla. Kokeilu tuotti arvokasta tietoa kiertotaloustekstiilin hyödyntämisestä, ja käyttökohdeideointia jatketaan hankeajan jälkeen.



KUVA 3. Poistotekstiilin hienontamista Biosammassa (kuva Melina Maunula).

SOVELTAVAN TUTKIMUKSEN JA YHTEISTYÖN TULEVAISUUS

Uusilla teknologisilla ratkaisuilla on suuri merkitys kiertotaloudessa. Nykyistä laajempi bio- ja kiertotalouden soveltavan tutkimuksen ympäristö loisi entistäkin paremmat edellytykset tunnistaa ja kehittää kiertotalouden laitteistoja liittyen kiertotalousmateriaalien hyödyntämiseen, hiilensidonnain ratkaisujen kehittämiseen sekä vähähiilisuuden ja energia- tehokkuuden edistämiseen. Aluekehitysyhtiön, ammattikorkeakoulun ja ammattiopiston yhteistyön syventäminen tarjoaa edellytykset tarjota alueelle kattavampaa ja koordinoitumpaa kiertotalouden tutkimus-, kehitys- ja innovaatiotoimintaa sekä koulutuspolkua. Yhteistyön syventäminen ja verkostotyön kehittäminen saisivat osaamiskeskuksesta puitteet, jotka mahdollistavat yhä vahvempien synergioiden löytämisen.

Xamkin, Kouvola Innovationin ja Edukon yhteistyö on syventynyt, ja yhteiset mahdollisuudet kiertotalouden edistämiseksi ovat kirkastuneet. Samalla edellytykset laajentaa verkostoa ovat parantuneet. Kouvola Innovationin rooli yritysrajojen toimijana tuo kehittämiseen ketteryyttä ja dialogisuutta, mikä edistää hankkeen ja sen tulosten alueellista linkittyneisyyttä. Koulutusorganisaatiot voivat TKI-hankkeiden opinnollistamisen kautta kytkeä tekemistä koulutukseen ja tukea opiskelijoiden linkittymistä ajankohtaiseen soveltavaan tutkimukseen sekä luoda yrityssuhteiden kautta luontevaa polkua opinnoista työelämään. Osaavan työvoiman saatavuus on alueen yritysten kasvun edellytys.

Yhteistyö jatkuu osaamiskeskuskonseptin tarkentamisen ja tilasuunnittelun edetessä. Osaamiskeskuksen tavoitteena on tuoda yhteen Hyötyvirta-alueen toimijat ja tukea Kymenlaaksossa kiertotalousliiketoimintaa harjoittavia ja kehittäviä organisaatioita. Lisäksi suunniteltuun keskuksen liittyvät vetovoimatekijöitä, jotka tukevat uuden yritystoiminnan juurtumista alueelle sekä tiedonvaihdon edellyttämää avoimuutta ja yhteyksiä kiertotalouden kansallisiin ja kansainvälisiin verkostoihin.

LÄHTEET

Aydiushchenko, A. & Zając, P. 2019. Circular Economy Indicators as a Supporting Tool for European Regional Development Policies. *Sustainability*, Vol. 11, 3025

Ellen MacArthur Foundation. 2022. Circular economy introduction. WWW-lähde. Saatavilla: <https://ellenmacarthurfoundation.org/topics/circular-economy-introduction/overview> [viitattu: 16.8.2022]

Euroopan komissio. 2022. Euroopan vihreän kehityksen ohjelma. WWW-lähde. Saatavilla: https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal_fi [viitattu: 16.8.2022]

Eurostat. 2022. Sustainable development in the European Union — Monitoring report on progress towards the SDGs in an EU context — 2022 edition. Saatavilla: <https://ec.europa.eu/eurostat/documents/15234730/15242025/KS-09-22-019-EN-N.pdf/a2be16e4-b925-f109-563c-f94ae09f5436?t=1667397761499>

Haapanen, A. & Maunula, M. 2021. Opiskelijat suunnittelivat EcoUpille kiertotalousmaskotin. Xamk Next -verkkolehti. Saatavilla: <https://next.xamk.fi/yhteistyossa/opiskelijat-suunnittelivat-ecoupille-kiertotalousmaskotin/> [viitattu: 20.9.2022]

Kouvola Innovation. 2022. Hyötyvirta - Puhdasta hyötyä. WWW-lähde. Saatavilla: <https://kinno.fi/kiertotalouspalvelut/hyotyvirta-puhdasta-hyotya/>

Kymenlaakson liitto. 2022. Kymenlaakson älykkään erikoistumisen strategia 2.0. WWW-lähde. Saatavilla: <https://www.kymenlaakso.fi/maakunnan-kehittaminen/alykkaan-erikoistumisen-strategia> [viitattu: 16.8.2022]

Maietta, O. W. 2015. Determinants of university–firm R&D collaboration and its impact on innovation: A perspective from a low-tech industry. *Research Policy*, Vol. 44, Iss. 7, s. 1341–1359.

Silvestri, F., Spigarelli, F. & Tassinari, M. 2020. Regional development of Circular Economy in the European Union: A multidimensional analysis. *Journal of Cleaner Production*, Vol. 255. Saatavilla: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.120218>

Valtioneuvoston kanslia. 2022. Kestävän kehityksen globaali toimintaohjelma Agenda2030. WWW-lähde. Saatavilla: <https://kestavakehitys.fi/agenda-2030> [viitattu: 16.8.2022]

Virtanen, M., Manskinen, K., Uusitalo, V., Syväne, J. & Cura, K. 2019. Regional material flow tools to promote circular economy. *Journal of Cleaner Production*, Vol. 235. s. 1020–1025.

Wallenius, E. 2022. Rakennusosien uudelleenkäyttömahdollisuudet rakennushankkeessa: Case Hyötyvirta keskus. Diplomityö: Arkkitehdin tutkinto-ohjelma, Rakennetun ympäristön tiedekunta, Tampereen yliopisto. Saatavilla: <https://urn.fi/URN:NBN:fi:tu-ni-202208226617> [viitattu: 27.9.2022]

Xamk. 2022a. Vaikuttavuus ei ole kvartaalitaloutta. Xamk Read -verkkolehti. Nro 1/2022. Saatavilla: <https://read.xamk.fi/2022/muu-kehittaminen/vaikuttavuus-ei-ole-kvartaalitaloutta/> [viitattu: 6.9.2022]

Xamk. 2022b. KOSKES – kiertotalouden osaamiskeskus. WWW-lähde. Saatavilla: <https://www.xamk.fi/koskes/> [viitattu: 6.9.2022]

Ympäristöministeriö (YM). 2022. Kiertotalouden strateginen ohjelma. WWW-lähde. Saatavilla: <https://ym.fi/kiertotalousohjelma> [viitattu: 17.8.2022]

KOKEMUKSIA KIERTOTALOUDEN ALUEELLISEN TIEDOTUSALUSTAN SUUNNITTELUSTA

Melina Maunula & Jani Kiviranta & Ari Haapanen

Tässä artikkelissa käsitellään alueellisen kiertotalouden tiedotusalan suunnittelua ja siihen linkittyvää kehittämistyötä Kymenlaaksossa. Käynnissä olevalla kehittämistoiminnalla pyritään tukemaan kiertotalouteen sekä digitaaliseen talouteen linkittyvien yritysten sekä tutkimus- ja kehittämistoimijoiden verkottuneisuutta. Samalla parannetaan alueen toimijoiden edellytyksiä kehittää toimialojen rajapintoja läpileikkaavia teknologioita alueellisessa digikiertotalousekosysteemissä. Virtuaalisen kiertotaloustalustan kehittäminen on luonteva osa Kymenlaakson bio- ja kiertotalouden pitkäjänteistä kehittämistyötä.

JOHDANTO

Digitalisaatio ja vihreä siirtymä edustavat merkittäviä ja kaikkia toimialoja koskettavia murroksia toimintaympäristössämme. Digitaalisen talouden ja kiertotalouden yhteen linkittäminen sallii niiden välisten yhteyksien tarkastelua sekä synergioiden tunnistamista. Digikiertotaloudessa avainasemassa on datapohjaisten ja virtuaalisten kiertotaloutta edistävien ratkaisujen hyödyntäminen maksimoiden hyvinvointia ja vaurautta maapallon ekologisen kantokyvyn rajoissa (DigitalEurope 2020).

Datapohjaisen kiertotalouden edistämisen toimenpiteet on luokiteltu VTT:n kattavassa taustaraportissa kiertotalouden i) työkalujen ja teknologioiden kehittämiseen, ii) verkostojen, yhteistyön ja ekosysteemien luomiseen sekä iii) hallinnon toimenpiteiden voimistamiseen (Kauppila 2022, 9). Dataa ja digitaalisia ratkaisuja voidaan hyödyntää ihmisten ja yritysten mielipiteisiin vaikuttamiseen sekä prosessien, tuotteiden ja palveluiden kehittämiseksi edistämään kiertotalouteen siirtymistä (Hedberg & Šipka 2020, 11). Suomen kiertotalousohjelman (YM 2021) mukaan digitalisaatio voi edistää muun muassa materiaalivirtojen jäljitettävyyttä, tuotannon resurssitehokkuutta sekä dataan perustuvaa päätöksentekoa ja liiketoimintaa.

Kymenlaaksossa on vuoden 2022 aikana konseptoitu Kaakkois-Suomen kiertotalousliiketoimintaa tukevaa tiedotusalan osaksi kehittyvää kiertotalouden Hyötyvirta-ekosysteemiä. Tiedotusalan suunnittelua ja pilotointia tehdään osana DIKIEKO – Digitalisaation avulla tehoa kiertotalousekosysteemiin -hanketta (Xamk 2022a). Kymenlaakson liitto

on rahoittanut hankkeen Euroopan aluekehitysrahastosta osana Euroopan unionin covid-19-pandemian johdosta toteuttamia toimia.

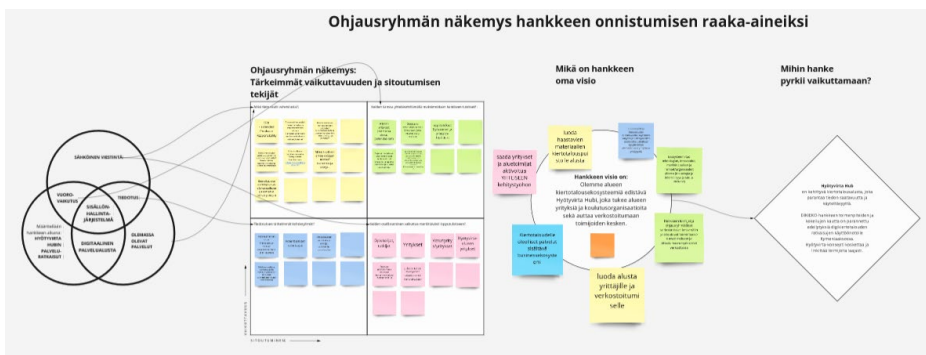
Kiertotalousalusta linkittyy Hyötyvirta-kehitykseen, jossa luodaan kokonaisvaltainen palvelu- ja kehittämiskonsepti kiertotalouden innovaatioprosessien helpottamiseksi ja yritystoiminnan tukemiseksi (Kouvola innovation 2022a). Tiedotusallustaa on suunniteltu ja tullaan testaamaan ja jatkokehittämään yhdessä yritysten kanssa huomioiden eri käyttäjäryhmien näkökulmat ja kiertotalouden eri ilmentymät. Samalla edistetään alueen toimijoiden verkostoituneisuutta Hyötyvirta-alustan ympärille syntyvässä Kymenlaakson digikiertotalousekosysteemissä.

KEHITTÄMISTYÖN LÄHTÖKOHDAT

Tarve virtuaalialustalle tunnistettiin kartoitettaessa Hyötyvirta-alueelle suunnitellun osaamiskeskuksen tilatarpeita ja haluttuja toimintoja. Kiertotalouden toimijoiden kohtaamispaikka, rakentamisen kiertotalouden referenssikohde sekä kiertotaloustoiminnan showroomin ja TKI-ympäristöt kattava rakennus vastaavat kiertotalousyritysten ja Hyötyvirta-yritysalueen kehittämistarpeisiin sekä Kaakkois-Suomen kiertotalouden soveltavan tutkimuksen tarpeisiin (Xamk 2022b; Kouvola Innovation 2022b). Silti covid-19-pandemian keskellä oli räikeän selvää, että kansallinen ja kansainvälinen vaikuttavuus edellyttää alueelta myös näkyvyyttä ja tavoitettavuutta virtuaalisesti. Samalla nähtiin tärkeänä Kymenlaakson älykkään erikoistumisen strategian (Kymenlaakson liitto 2021) mukaisesti tarkastella yritysten liiketoiminnan kehittämismahdollisuuksia digikiertotaloudessa.

Ajatuksia alustan ominaisuuksia on kerätty hanketyöryhmän suorittaman tiedonhaun ja vastaavien palveluiden benchmarkingin kautta sekä DIKIEKO-hankkeen ohjausryhmätyöskentelyn ohessa Miro-alustalla toteutetun yhteisen ideoinnin kautta. Lisäksi biotuotemuotoiluopiskelijat ovat pohtineet alustan mahdollisia ominaisuuksia osana Kiertotalous-opintojaksoa alkuvuodesta 2022. Suunnittelussa on myös huomioitu rajapinta kansallisten kiertotalousalustojen kehitykseen muun muassa Motivan ja SYKEN (2022) Kiertotalous-Suomi-sivustoon sekä ympäristöministeriön ja Motivan (2022) Materiaalitori-sivustoon.

Alueellinen kiertotalousalusta avaa alueen toimijoille mahdollisuuksia päästä mukaan alustaekosysteemien rakentamiseen ja kehittämiseen osana laajempaa Suomen digikiertotalouden kehitystyötä. Digikiertotalouden ratkaisuja kehitetään parhaillaan monella taholla, ja yksi tärkeä painopiste tulee olla alueellisen toiminnan linkittämisessä kansalliseen ja kansainväliseen kehitykseen. Esimerkiksi KiertotalousSuomi-sivustolta voidaan linkittää saataville paljon kiertotalouden perustietoa, jolloin painopiste alueella voi sisällöntuotannon osalta keskittyä Kymenlaakson kiertotalouksesimerkkien esille tuontiin ja verkostojen aktivointiin. Materiaalitorin käyttöön kannustaminen puolestaan auttaa edistämään kiertotalousmateriaalien alueellista saatavuutta ja näin mahdollistaa kiertotalouden toteutumista.



KUVA 1. DIKIEKO-hankkeen vision muodostaminen työpajamaisesti Miro-alustalla (kuva Melina Maunula)

Ohjausryhmässä tunnistettiin tärkeimpiä vaikuttavuutta ja sitoutumista aikaansaavia tekijöitä alustakehitystyössä. Työn tuloksena luotiin toiminnalle visio sekä kuvaus siitä, mihin hanke pyrkii vaikuttamaan. Visio kuuluu: ”Olemme alueen kiertotalousekosysteemiä edistävä Hyötyvirta Hubi, joka tukee alueen yrityksiä ja koulutusorganisaatioita sekä auttaa verkostoitumaan toimijoiden kesken.” Tavoitteeksi hankkeelle asetettiin: ”Hyötyvirta Hub on kehittyvä kiertotalousalusta, joka parantaa tiedon saatavuutta ja käytettävyyttä. DIKIEKO-hankkeen toimenpiteiden ja kokeilujen kautta on parannettu edellytyksiä digikiertotalouden ratkaisujen käyttöönotolle Kymenlaaksossa. Hyötyvirta-konsepti koskettaa ja linkittää toimijoita laajasti.”

ALUSTAN SUUNNITTELU

Simo Säde kertoo artikkelissaan: Käyttäjakeskeisyyttä muotoilutoimistossa käyttöliittymien suunnittelusta. Alustan suunnittelussa pyritään hyödyntämään käyttäjakeskeisen suunnittelun periaatteita. Sen tarkoituksena on muun muassa käyttäjien ottaminen mukaan kehitykseen, jolloin saadaan tietoa toiminnoista ja arviointeja niiden toimivuudesta. Oleellinen osa kehityksessä on ideoiden jatkuva visualisointi, mallinnus ja prototypointi, jotta kehityskohteista voidaan keskustella. (Keinonen 2000)

Alustan kehitys on nyt suunnitteluvaiheessa, jossa prototypointikierroksia on tehty jo muutama, jolloin alustan visuaalisen elementtien tasapainoa ja toimivuutta on arvioitu yhdessä alustan toimittajan kanssa. Seuraava askel tulee olemaan oppilasryhmän käyttäminen testajana ja arvioijana alustan toimivuuden varmistamiseksi. Tästä saadaan lisää tietoa, mihin asioihin suunnittelussa tulisi vielä tähdätä. Testiryhmänä tulee toimimaan graafisen muotoilun 2021 -ryhmä osana käyttäjäymmärryksen opintojaksoa.

Suunnittelijat eivät ole käyttäjiä -väittämää pitää tarkastella käyttöliittymien suunnittelussa. Usein otettaessa oikeat käyttäjät oikeisiin ympäristöihin saadaan kohteesta arvokasta

ja usein yllättävää tietoa konseptien toimivuudesta, luonnehtii Simo Säde artikkelissaan. (Keinonen 2000)

Käytettävyyden ulottuvuuksien kriteerit voidaan jakaa seitsemään osa-alueeseen:

1. toiminnallisuus (functionality)
2. loogisuus (logic)
3. informaation esitystapa (presentation)
4. käyttöohjeet (documentation)
5. hyödyllisyys (usefulness)
6. helppokäyttöisyys (ease-of-use)
7. tunteisiin vaikuttavuus (affect).

Kriteereitä voidaan yhdistellä toisiinsa eri tavoin ja käyttää niitä käytettävyyden jäsentämiseen (Keinonen 2000). Alustan toimivuuden testaamisessa ja analysoinnissa kiinnitetään erityisesti huomiota näihin asioihin, jossa keskeisenä testiryhmänä toimii graafisen muotoilun oppilasryhmä ensimmäisessä vaiheessa, ja tämän jälkeen testausta voidaan laajentaa seuraavalle ryhmälle, esimerkiksi alueen yrityksille, jotka tulevat käyttämään palvelua.

Sivuston käytettävyys kulkee yleensä käsi kädessä myös sen ekologisuuden kanssa. Jokainen sivulataus, linkin klikkaus ja verkkosivulla pyörivä video aiheuttavat energiankulutusta palvelimella ja tuottavat näin välillisesti kasvihuonepäästöjä. Yksinkertaistamalla sivurakenteita ja sivun toimintoja voidaan pienentää sivuston hiilijalanjälkeä. (Turunen 2022)

Sivuston testaamisessa tullaan hyödyntämään Xamkin Kouvolan kampukselle rakennettua älykästä yhteiskehittämisen tilaa FUELia (Future Experience Lab). Tilassa hyödynnetään uutta teknologiaa toimintojen esitys- ja analysointimenetelmiin (Muotio 2022, Xamk 2022c). Testaustulokset saadaan myös helposti dokumentoitua käyttäjäymmärryksen prosessista.

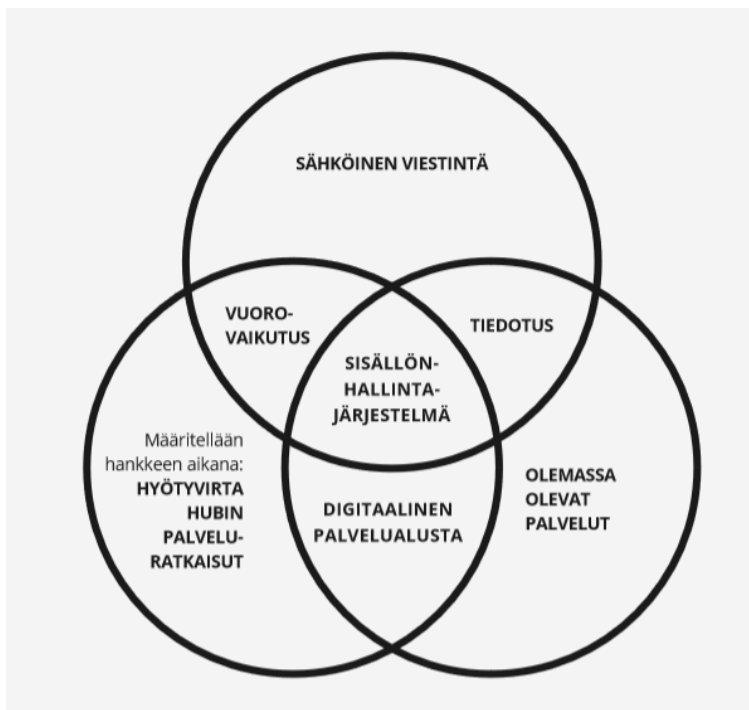
ALUSTAN OMINAISUUDET JA RAKENNE

Alustan ominaisuuksien suunnittelussa lähdettiin liikkeelle sisällöntuottajanäkökulma edellä: miten sisällöntuotanto olisi riittävän tehokasta ja yksinkertaista sen sijaan, että sisällöntuottajan olisi tarpeen olla tekninen edelläkävijä tai visuaalinen suunnittelija. Suunnittelussa auttoi käyttäjälähtöinen suunnittelu sisältönäkökulmasta, jossa arvioitiin eri sivujen mahdollista sisältöä sekä sitä, miten sitä tulisi pystyä syöttämään ja miten sitä esitettäisiin. Ohjelmistoarkkitehtuurin pohjalla oli MVC-arkkitehtuuri, jolla erotetaan tiedon tallentamisessa käytettävä malli, tiedon esittämiseen ajateltu näkymä sekä tiedonkäsittelykoodi, joka vastaa käyttäjän tekemiin valintoihin hyödyntäen tallennettuja tietoja ja näkymiä.

JOHTOPÄÄTÖKSET

Alueellisen kiertotalousalustan kautta tuodaan yritysten ja muiden kiertotalouden innovaatioverkoston osapuolten saataville kiertotalouteen liittyvää tietoa ja ratkaisuja helposti ymmärrettävässä muodossa. Kehittämistyössä tunnistetaan kiertotalouden liiketoiminnan pullonkauloja ja niihin vastaavia digitaalisia ratkaisuja sekä verkotutaan kiertotalouden ja digitaalisen talouden toimijoiden kesken (Maunula 2021). Alusta parantaa toimijoiden edellytyksiä olla digitaalisesti yhteydessä toisiinsa ja optimoimaan toimintaansa. Kehittämis- ja verkostotyön kautta lisätään pk-yritysten innovaatiopotentiaalia sekä parannetaan kokeilu- ja yhteistyömahdollisuuksia sekä laajennetaan alueellisen Hyötyvirta-alueen toimintasädetä kansalliselle ja kansainväliselle tasolle.

Alueellisen kiertotalousalustan kehitys kulkee vaiheittain siten, että alussa tuotetaan ja pilotoidaan tiedotus-alustaa sekä selvitetään toimijoiden toiveita ja tarpeita alustakehitykselle. Tärkeää on myös huomioida linkittyneisyys jo olemassa oleviin palveluihin. Kuvassa 3 on esitetty venn-diagrammi, joka kuvaa viestinnän jo olemassa olevien palveluiden sekä hankkeen aikana määriteltävän Hyötyvirta-hubin palveluratkaisujen suhdetta ja päällekkäisyyttä.



KUVA 3. Viestinnän olemassa olevien palveluiden ja Hyötyvirta-hubin palveluratkaisujen suhde ja päällekkäisyydet (kuva Melina Maunula)

Alustan tulevia kehitysvaiheita, joihin liittyen tehdään nyt tarvekartoitusta ja joiden toteuttavuutta turvataan ensimmäisen alustaversioiden suunnittelussa, ovat Hyötyalusta ja Palvelualusta. Tulevat alustan kehitysvaiheet sisältävät täsmällisesti alueelle räätälöidyn tiedon saatavuuden parantamista sekä alustalla tapahtuvan vuorovaikutuksen lisäämistä. Jatkokehitys tulee mahdollistamaan myös kansallisen ja kansainvälisen yhteistyön syventämisen. Alustan kehittämisspolku kulkee luontevasti osana Hyötyvirta-kehityksen kokonaisuutta.

Hyötyvirta-kehityksen kautta tuetaan pk-yritysten mahdollisuuksia menestyä kiertotalousliiketoiminnassa sekä vahvistetaan niiden sitoutumista ekosysteemin kehittämiseen samalla laajentaen ja monipuolistaen kiertotalousekosysteemistä hyötyvien yritysten joukkoa. Näin pystytään myös tunnistamaan uusia kehittämiskohteita ja TKI-sisältöjä, joilla voidaan vastata täsmällisesti digikiertotalouden toiminnan haasteisiin.

LÄHTEET

DigitalEurope. 2020. Digital as key for a low carbon circular economy. WWW-lähde. Saatavilla: <https://www.digitaleurope.org/resources/digital-as-key-for-a-low-carbon-circular-economy/> [viitattu: 1.9.2022]

Hedberg, A. & Šipka, S. (edit). 2020. The circular economy: Going digital. European Policy Centre (EPC) -julkaisu. Saatavilla: https://www.epc.eu/content/PDF/2020/DRCE_web.pdf

Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu (Xamk). 2022a. DIKIEKO – Digitalisaation avulla tehoa kiertotalousosesteemiin. WWW-lähde. Saatavilla: www.xamk.fi/dikieko [viitattu: 16.8.2022]

Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu (Xamk). 2022b. KOSKES – Kiertotalouden osaamiskeskus. WWW-lähde. Saatavilla: www.xamk.fi/koskes [viitattu: 16.8.2022]

Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu (Xamk). 2022c. Future Experience Lab FUEL. WWW-lähde. Saatavilla: www.xamk.fi/fuel [viitattu: 15.9.2022]

Kauppila, T. (toim.) 2022. Datapohjaisen kiertotalouden käsikirja: Datalähteet, työkalut ja hallintokehitys suunnittelulähtöisten kiertotalousratkaisujen tekemiseksi. (Engl. Handbook for a Data-Driven Circular Economy in Finland: Data Sources, Tools, and Governance for Circular Design). Teknologian tutkimuskeskus VTT. VTT Technology 401. PDF-dokumentti. Saatavilla: <https://publications.vtt.fi/pdf/technology/2022/T401.pdf>

Keinonen, T. 2000. Miten käytettävyys muotoillaan? Taiteiden ja suunnittelun korkeakoulu TAIK, Aalto-yliopisto.

Kouvola Innovation. 2022a. Hyötyvirta - Puhdasta hyötyä. WWW-lähde. Saatavilla: <https://kinno.fi/kiertotalouspalvelut/hyotyvirta-puhdasta-hyotyja/> [viitattu: 12.9.2022]

Kouvola Innovation. 2022b. KOSKES. WWW-lähde. Saatavilla: <https://kinno.fi/koskes/> [viitattu: 16.8.2022]

Kymenlaakson liitto. 2021. Kymenlaakson älykkään erikoistumisen strategia 2.0. PDF-dokumentti. Saatavilla: https://www.kymenlaakso.fi/images/Liitteet/ALUEKEHITYS/Kymenlaakso_ES_20__1212021_FINAL_korjattu0421.pdf [viitattu: 16.8.2022]

Maunula, M. 2021. Soveltavalla tutkimuksella tuetaan digikiertotalouden innovaatioita. Xamk READ -verkkojlehti, Nro 4/2021. Saatavilla: <https://read.xamk.fi/2021/metsa-ymparisto-ja-energia/soveltavalla-tutkimuksella-tuetaan-digikiertotalouden-innovaatioita/>

Motiva & Suomen ympäristökeskus (SYKE). 2022. KiertotalousSuomi. WWW-lähde. Saatavilla: <https://kiertotaloussuomi.fi/> [viitattu: 28.9.2022]

Muotio, L. 2022. FUELin ihmeelliseen metaversumiin tutustumassa. Xamk Next verkkolehti. Julkaistu: 15.6.2022. Saatavilla: <https://next.xamk.fi/uutta-luomassa/fuelin-ihmeelliseen-metaversumiin-tutustumassa/>

MVC-arkkitehtuuri. Saatavilla: <https://fi.wikipedia.org/wiki/MVC-arkkitehtuuri> [viitattu 23.9.2022]

Nyberg, A. 2022. Kouvolan kaupungin rakennusmateriaalien tietovarastojen hyödyntäminen, puhelinhaastattelu, 16.9.2022.

Turunen, J. 2022. Suunnitteluvirheet voivat moninkertaistaa verkkosivun hiilijalanjäljen. Xamk Next -verkkolehti. Julkaistu: 17.8.2022. Saatavilla: <https://next.xamk.fi/vastuullisesti/suunnitteluvirheet-voivat-moninkertaistaa-verkkosivun-hiilijalanjaljen/>

Ympäristöministeriö (YM) & Motiva. 2022. Materiaalitori: Jätteiden ja sivuvirtojen tiedostusala. WWW-lähde. Saatavilla: <https://www.materiaalitori.fi/>

Ympäristöministeriö (YM). 2022. Kiertotalouden strateginen ohjelma. WWW-lähde. Saatavilla: <https://ym.fi/kiertotalousohjelma> [viitattu: 17.8.2022]

BOOSTING THE INTERNATIONALISATION OF CIRCULAR BIOECONOMY RDI IN THE KYMENLAAKSO REGION

Sari Himanen & Vappu Kunnaala-Hyrkki

The project “New Openings in the Bioeconomy”, funded by the European Regional Development Fund (ERDF), Regional Council of Kymenlaakso, focused on 1) developing regional cooperation, livelihood and attractiveness in Kymenlaakso, 2) increasing the networking and international expertise of the research, development and innovation (RDI) actors in the region and 3) developing specific expertise and capacities for internationalisation in the field of bioeconomy. In the last year of the project, the focus was on strengthening regional capacities towards internationalisation, including identifying synergies between regional and transnational RDI activities and recognising potential international funding opportunities, especially from Horizon Europe.

TRANSITION TO A CARBON NEUTRAL KYMENLAAKSO THROUGH CIRCULAR BIOECONOMY SOLUTIONS

The goal for a Carbon Neutral Kymenlaakso Region 2040 (Kymenlaakso Region 2020) requires multisectoral solutions, strategic planning and governance as well as a diverse set of RDI efforts. Circular economy and bioeconomy approaches are among the key activities that can help reach this goal. The circular bioeconomy transition is strongly driven by European Union (EU) policies and initiatives, while it is largely built on local solutions. Halting climate change and advancing the bio and circular economy are global challenges, but the impacts are met and the practical solutions are created locally.

Regional, national and EU level RDI agendas share many of the same goals and ambitions for supporting green and just transition. Thus, the strategic development of regional RDI portfolios requires the discovering and maximising of synergies between the regional, national and international funding sources and activities. This is essential for high impact and advancement and ensures high RDI quality and cost-effectiveness.

SYNERGETIC FUNDING OPPORTUNITIES FROM REGIONAL AND INTERNATIONAL SOURCES

The idea of maximising impact and synergies between different funding sources and activities corresponds in many ways with the idea of circularity: Using the resources most cost-effectively and sustainably, while empowering and enriching the process with novel innovations and side streams. Considering the strategic advancement of RDI by competitive funding, it should be seen as a continuous and complex process with different inputs and linkages, forming a network of actions, actors, projects and phases, rather than a traditional input-output-based linear process consisting of single, predetermined projects with no connection between each other or a longer-term strategy. Increasing the level of knowledge on different funding sources is needed to allow networks of projects and actions to be built and to work in synergy.

The EU and member states support RDI through a diverse set of funding programmes. The largest European research and innovation programme, Horizon Europe 2021-2027, aims for state-of-the-art advancement of European RDI with a budget of over 95 billion euros. In addition to project funding, EU Missions target the most acute challenges of our time and aim for practical advancement jointly with actors and stakeholders through policy learning platforms, international multi-actor networks and innovative practices. Another key feature of Horizon Europe is European partnerships, including altogether 49 initiatives that support the long-term development of business and RDI jointly by private and public actors on specific key themes and challenges.

Other EU funding programmes include the Programme for the Environment and Climate Action (LIFE), Erasmus+ for mobility and capacity building and the Interreg programmes (Baltic Sea Region, Central Baltic, Europe) for inter-regional approaches, for example. Interreg offers support for improved regional administration and governance, and LIFE can support taking RDI into practice. Furthermore, the ERDF and European Social Fund+ (ESF+) support national and regional RDI for cohesion policy. Figure 1 exemplifies seeking synergies between regional and international funding sources to advance circular economy solutions.

| | | |
|---|---|--|
| ERDF: Development of a novel circular bioeconomy solution based on regional initiative | Erasmus+: Transnational mobility and capacity building through innovation alliance on circular bioeconomy | Horizon Europe: Research and Innovation Action grant for state-of-the-art advancement of the circular economy solution |
| ESF+: Training to attain develop expertise and skilled workforce for advancing circular bioeconomy in the region | LIFE: Standard Action Project to take the developed circular economy solution closer to market and into practice | Interreg: Interregional project to tackle a joint challenge and develop policies supporting the uptake of the circular bioeconomy solutions |

FIGURE 1. Example of synergetic regional and international funding. Several grant agreements and actions are used to advance circular bioeconomy. Complementarity and exclusion of double funding need to be ensured.

The joint development of Cohesion Policy and RDI in Horizon Europe has been one of the priorities of the European Commission. A Notice on the Synergies between Horizon Europe and ERDF programmes was released on 5 July 2022, outlining how the synergies are to be supported and complementarity ensured (Synergies between Horizon Europe and ERDF programmes (Draft Commission Notice), C(2022) 4747 final). The notice emphasised the role of managing authorities of RDI programmes in knowing and integrating the strategic priorities of Horizon Europe (including the missions and partnerships), ERDF and regional Research & Innovation Smart Specialisation Strategies (RIS3).

SMART SPECIALISATION STRATEGIES IN GUIDING INTERNATIONALISATION

Kymenlaakso's smart specialisation priorities for 2021–2025 are 1) smart and green logistics (logistics priority), 2) renewable materials and energy (bio and circular economy priority) and 3) data economy, cybersecurity and gamification (digitalisation priority) (KYMRIS3 Kymenlaakso's RIS3 strategy). Thus, building international RDI collaboration in these fields is a strategic decision made jointly by regional actors and stakeholders. In the EU, regional development and selected smart specialisation strategies are supported by several funding instruments and networking initiatives to connect regions with similar priorities, ambitions and value chains.

By linking the RIS3 spearheads to the strategic priorities and objectives of EU RDI funding programmes, the Kymenlaakso region can advance, in a more strategic and focused way, towards internationalisation. In the BUT project, several efforts to support this development were made. Firstly, a report on international EU funding for supporting the development of bioeconomy RDI in Kymenlaakso was prepared, including a gap analysis and recommendations for regional action (Korhonen 2022). The recommendations included the identification and specification of goals, indicators and resources for bioeconomy RDI in the region, strengthening international networks, discussing and determining jointly the roles and responsibilities for developing and catalysing the innovation ecosystems, enhancing the knowledge base and support services for companies and SMEs on international RDI funding as well as more strategic seeking of synergies between different funding sources, for example.

As a follow-up activity, the potential of the most relevant EU funding programmes to support the RIS3 spearheads and circular bioeconomy RDI in Kymenlaakso were mapped by Xamk. The aim was to provide regional actors, both managing authorities and RDI implementers, more insights on strategic opportunities for strengthening the circular bioeconomy spearhead through boosting internationalisation while maximising the synergies between the regional and transnational funding in the project portfolio.

LINKING THE DEVELOPMENT GOALS OF REGIONAL RDI WITH THE HORIZON EUROPE STRATEGIC PLAN AND WORK PROGRAMMES

Horizon Europe emphasises that the EU needs to be globally competitive and must ensure strategic autonomy, especially after the recent COVID-19 pandemic and unprecedented geopolitical situation in Europe. EU level and societal resilience have become more important than ever. Transforming our agrifood, manufacturing, material and resource use and energy systems, all being closely linked to bio and circular economy solutions, are central in this development. Transition to a circular economy is key for mitigating and adapting to climate change, halting biodiversity loss and securing sustainable and resilient societies.

Horizon Europe project funding calls and call topics cover a wide variety of sectors and policy goals, with a set of predetermined desired destinations that guide the expected impact pathways fostered by the funded projects and their expected outcomes. Identified key themes linking Horizon Europe strategic plan and Pillar II work programmes and the regional RDI goals and RIS3 spearheads of Kymenlaakso (with most focus on bioeconomy) are summarised below and in Table 1.

TABLE 1. Key destinations, calls and partnerships in Horizon Europe Pillar II supporting bio and circular economy RDI.

| Horizon Europe Pillar II Clusters | Key destinations | Key European partnerships |
|---|---|---|
| Cluster 5: Climate, Energy and Mobility | <p>D2 – Cross-sectoral solutions for the climate transition: A competitive and sustainable European battery value chain</p> <p>D3 – Sustainable, secure and competitive energy supply: Global leadership in renewable energy; Energy systems, grids and storage; Carbon capture, utilisation and storage</p> <p>D4 – Efficient, sustainable and inclusive energy use: Highly energy-efficient and climate neutral EU building stock; Industry</p> | <p>Batt4EU – Industrial Battery Value Chain</p> <p>People-centric sustainable built environment (Built4People)</p> <p>Clean Hydrogen</p> <p>Clean Energy Transition</p> |
| Cluster 6: Food, Bioeconomy, Natural Resources, Agriculture and Environment | <p>D3 – Circular economy and bioeconomy sectors: Enabling a circular economy transition; Innovating for sustainable bio-based systems, biotechnology and the bioeconomy; Safeguarding the multiple functions of EU forests</p> <p>D4 – Clean environment and zero pollution: Increasing environmental performances and sustainability of bio-based processes and products; Land, ocean and water for climate action</p> <p>D6 – Resilient, inclusive, healthy and green rural, coastal and urban communities</p> | <p>Circular Bio-based Europe (CBE) joint undertaking</p> |

CIRCULAR ECONOMY AND BIOECONOMY SECTORS AND BIO-BASED PROCESSES AND PRODUCTS

Most direct linkages to supporting the bio and circular economy in Horizon Europe is through Cluster 6 destination 3 “Circular economy and bioeconomy sectors”, which advances the circular economy in cities and regions, and in industries and value chains, e.g. on textiles, packaging and construction. It fosters innovative sustainable bio-based systems and the bioeconomy as well. In destination 4 “Clean environment and zero pollution”, one main aim is to increase the environmental performance and sustainability of bio-based processes and products. There is also a Circular Bio-based Europe joint undertaking with annual funding calls supporting the bio-based industry. Recent projects such as BIOKE, Research and recycling development of challenging materials at BioSampo (Xamk project homepage BIOKE), and the infrastructure and expertise of BioSampo (BioSampo homepage) and KymiLabs (KymiLabs homepage) can link to these themes.

ENERGY TRANSITION

Kymenlaakso is among the forerunner regions in Finland in the use of renewable energy. Several regional projects in Kymenlaakso have already laid the groundwork for novel energy solutions, such as the utilisation of waste heat (HUKKAVEKS: Networks and opportunities for the utilisation of waste heat in Kymenlaakso region, Xamk project homepage Hukka-veks), energy demand response (KULUMA: Opportunities for energy demand response, Xamk project homepage Kuluma) and virtual power plants (VAU: Virtual power plants for controlled use of renewable energy, Xamk project homepage Vau). There are good possibilities to extend the work by way of transnational projects.

Horizon Europe focuses on both energy supply and use sides, green hydrogen, biomethane, innovations for data centres and energy-intensive industries as well as the utilisation of waste heat links with regional RDI. Moreover, the European Commission’s recent REPowerEU Plan responding to the global energy market disruptions, driven by climate targets and by the need to reduce or end the EU’s dependence on Russian fossil fuels, strongly supports energy transition (EU Commission Repower EU Plan). It focuses on clean energy, clean industry and saving energy in synergy with the Recovery and Resilience Facility (RRF).

Ports, such as Hamina-Kotka in Kymenlaakso, are key locations for developing and testing future innovations for transportation, including renewable energy solutions and enhanced safety. Logistics expertise can contribute to calls on destinations on clean and competitive solutions for all transport modes (road, maritime, air) as well as safe, resilient transport and smart mobility services for passengers and goods, which are included in Horizon Europe Cluster 5. These can link with energy expertise and support bioeconomy industry logistics as well.

In addition, there is a European partnership focusing on batteries with numerous call topics. The developing battery cluster in Kotka-Hamina region will be able to contribute significantly to the European and global battery value chain, opening novel RDI opportunities within Horizon Europe (Kotka Hamina Region Power Coast).

CIRCULAR ECONOMY IN BUILDINGS AND CONSTRUCTION

New European Bauhaus is a European initiative to build sustainable, inclusive and aesthetically enriching living spaces in synergy with the European Green Deal (European Union initiative 2022). The initiative is a great example of an inter- and transdisciplinary approach towards sustainability: science, technology, art and culture as well as designing, environmental preservation and welfare of people going hand in hand with people and planet-centred solutions. RDI, education, business and public actors in Kymenlaakso can make use of this initiative in many ways in practice. It is supported through several funding sources including ERDF, LIFE and Erasmus+, Creative Europe and Horizon Europe programmes.

Regional projects in Kymenlaakso linking to this theme include, for example, BECO, The role of concrete in a carbon neutral society (Xamk project homepage Beco); CIRCON, Competences and materials for low-carbon and circular economy based construction (Xamk project homepage Circon); and “Biochar in building materials (Xamk project homepage Biochar in building materials)”. In the future, bringing together cultural and creative industries, wood construction and bioeconomy expertise can open novel opportunities.

CROSS-SECTORAL SOLUTIONS SUPPORTING THE INDUSTRIAL AND SOCIETAL GREEN TRANSITION

Cross-sectoral solutions and interdisciplinary expertise are needed both in circular bioeconomy solutions and in Horizon Europe projects. Digital bioeconomy, circular solutions for tourism, smart and green logistics or enhancing strategic autonomy for resilient industry (e.g. wood, processing and textile industry) are examples of such approaches.

RIS3 spearhead on digitalisation is an example of a cross-cutting theme, linking with digital solutions in bioeconomy and societal and community resilience, for example. Cybersecurity, improved information availability and reachability of services, and digital applications in logistics, bioeconomy, industry, governance, tourism, healthcare and well-being are all important considering digital transformation. Digital Innovation Hubs and gamification, service design and creative industries also support this. These provide multiple possibilities for international collaboration in line with the EU’s digital strategy as well as the Digital Europe, Horizon Europe and Creative Europe funding programmes. Regional projects in Kymenlaakso linking bioeconomy and digitalisation include e.g. DIGIEKO, Digital Circular Economy Ecosystem (Xamk project homepage Digieko).

BUILDING MORE RESILIENT SOCIETIES AND COMMUNITIES

Horizon Europe call topics targeting resilient, inclusive, healthy and green rural and coastal communities ties bio and circular economy solutions with social innovation. Multi-actor approaches, inclusive citizenship and digitalisation are central elements for social innovations targeting resilience. Key sectors for building resilience include the agrifood, energy, waste, security and healthcare sectors. This is especially important considering the transition to carbon neutrality, which requires efforts from all sectors of society as well as dialogue between sectors and governance.

It is also important to understand that resilience encompasses both physical and human resources. People are the basis for resilient communities and regions. Empowering young people, vulnerable groups and SMEs is, therefore, also key for resilience, regional attractiveness and livelihood. ESF+ and Erasmus+ programmes are central instruments in ensuring the availability of skilled workforce, high-quality education and training, and providing opportunities for mobility and capacity building. RDI portfolios should proactively involve this aspect to ensure the smooth progress of the developing circular bioeconomy in the region.

BOOSTING THE INTERNATIONALISATION OF THE CIRCULAR ECONOMY AND BIOECONOMY RDI

The bio and circular economy RDI initiatives in Kymenlaakso are well in line with the strategic objectives of Horizon Europe and several other international EU funding programmes. This ensures ample opportunities to build on and extend the bio and circular economy RDI and effectively exploit the results in regional development as well as business and investment plans.

Bio and circular economy solutions need to make use of interdisciplinary RDI to help meet the climate and biodiversity targets while contributing to solving acute industrial and societal challenges. Regional RDI actors should envision beyond single projects, activities and even sectors when boosting transnational collaboration. Relevant collaboration for regional advancement is not limited to sectoral approaches but could be found, for example, on circularity for sustainable tourism, nature-based solutions for climate action, building community resilience or international education programmes to sustain livelihood.

Via international collaboration, learning from other regions with similar challenges, sharing expertise and piloting best practices is possible. [Hyötyvirta](#) environmental business area and community is a developing hub for piloting, demonstrating and exploiting innovations, supported by the KOSKES, Circular Economy Center of Excellence, project (Hyötyvirta homepage, KOSKES homepage), for example. The involvement of public and private actors from the quadruple helix of actors (science, policy, industry, society) is a key advantage.

European networks with similar RIS3 spearheads and Nordic, Baltic Sea Region and European inter-regional collaboration can be effectively used to support the bioeconomy. There is a Horizon 2020 Interreg synergies mapping tool available to assist in finding relevant new partners (Horizon 2020-Interreg synergies-mapping tool webpage). Horizon Europe funding can be sought for strategic state-of-the-art approaches contributing to EU level innovation and policies. LIFE funding can support taking the RDI solutions into practice in the region. It is important to proactively study and stay up to date with the developments of EU policy and RDI strategies. This helps to ensure that regional RDI is in line with these and can make use of relevant EU funding sources for regional advancement, higher impact, complementarity and synergies.

REFERENCES

BioSampo homepage. Available: [Bio- ja kiertotalouden tutkimuskeskus | BioSampo | Xamk](#). [accessed 28/10/2022]

EU Commission Repower EU Plan. REPowerEU: affordable, secure and sustainable energy for Europe. Available: https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal/repowereu-affordable-secure-and-sustainable-energy-europe_en [accessed 28/10/2022]

European Union initiative. New European Bauhaus. Available: https://new-european-bauhaus.europa.eu/about/about-initiative_en [accessed 28/10/2022]

Horizon Europe Work Programme 2021-2022. 7. Digital, Industry and Space. Available at: https://ec.europa.eu/info/funding-tenders/opportunities/docs/2021-2027/horizon/wp-call/2021-2022/wp-7-digital-industry-and-space_horizon-2021-2022_en.pdf [accessed 18/7/2022].

Horizon Europe Work Programme 2021-2022. 8. Climate, Energy and Mobility. Available at: https://ec.europa.eu/info/funding-tenders/opportunities/docs/2021-2027/horizon/wp-call/2021-2022/wp-8-climate-energy-and-mobility_horizon-2021-2022_en.pdf [accessed 18/7/2022].

Horizon Europe Work Programme 2021-2022. 9. Food, Bioeconomy, Natural Resources, Agriculture and Environment. Available at: https://ec.europa.eu/info/funding-tenders/opportunities/docs/2021-2027/horizon/wp-call/2021-2022/wp-9-food-bioeconomy-natural-resources-agriculture-and-environment_horizon-2021-2022_en.pdf [accessed 18/7/2022].

Horizon 2020-Interreg synergies-mapping tool webpage. Available: <https://webgate.ec.europa.eu/dashboard/sense/app/984fb9e1-b5ad-44ee-b380-c7da695cfd6e/sheet/371667d5-31a8-4cbb-b4ca-ece4bbcc02a8/state/analysis> [accessed 28/10/2022]

Hyötyvirta homepage. Available: <https://www.hyotyvirta.fi/framework/main.php?url=/frontpage/> [accessed 28/10/2022]

Korhonen, P. 2022. Kansainvälinen EU-rahoitus TKI-kehittämisen resurssina – näkökulmia onnistumisen edellytyksiin. 31/1/2022. PDGE Project Development Group Europe. Available at: https://www.xamk.fi/wp-content/uploads/2020/03/kansainvalinen-eu-rahoitus-case_kymenlaakso_bio-ja-kiertotalous.pdf [accessed 18/7/2022].

Kotka Hamina Regio Power Coast. Power Coast – Nordic Growth Energy. Available: <https://www.businesskotkahamina.fi/en/front-page/karkitoimialat-of-the-region/battery-industry/> [accessed 28/10/2022]

Kymenlaakso Region, 2020. Carbon Neutral Kymenlaakso Region 2040. Available at: <https://www.kymenlaakso.fi/in-english/carbon-neutral-kymenlaakso> [accessed 28/10/2022].

KymiLabs homepage. Available: <https://www.xamk.fi/kymilabs/>. [accessed 28/10/2022].

KYMRIS3 Kymenlaakso's RIS3 strategy. Available at: https://www.kymenlaakso.fi/attachments/article/13388/KYMRIS3_esite_eng.pdf [accessed 21/7/2022].

Synergies between Horizon Europe and ERDF programmes (Draft Commission Notice), C(2022) 4747 final. Annex to the Communication to the Commission Approval of the content of a draft Commission Notice on the synergies between ERDF programmes and Horizon Europe. 2022. Available at: https://ec.europa.eu/info/sites/default/files/research_and_innovation/strategy_on_research_and_innovation/documents/c_2022_4747_1_en_annex.pdf [accessed 21/7/2022].

Xamk project homepage Beco. Available: www.xamk.fi/beco [accessed 28/10/2022]

Xamk project homepage Biochar in building materials. Available: <https://www.xamk.fi/tutkimus-ja-kehitys/biohiili-rakennusmateriaaleissa/> [accessed 28/10/2022]

Xamk project homepage BIOKE. Available: <https://www.xamk.fi/bioke> [accessed 28/10/2022]

Xamk project homepage Circon. Available: <https://www.xamk.fi/tutkimus-ja-kehitys/circon-i-xamk-i-tutkimus-ja-kehityshankkeet/> [accessed 28/10/2022]

Xamk project homepage Digieko. Available: <https://www.xamk.fi/en/research-and-development/dikieko-digital-circular-economy-ecosystem/> [accessed 28/10/2022]

Xamk project homepage Hukkaveks. Available: www.xamk.fi/hukkaveks [accessed 28/10/2022]

Xamk project homepage KOSKES. Available: <https://www.xamk.fi/en/research-and-development/koskes-circular-economy-center-of-excellence/> [accessed 28/10/2022]

Xamk project homepage Kuluma. Available: www.xamk.fi/kuluma [accessed 28/10/2022]

Xamk project homepage Vau. Available: www.xamk.fi/vau [accessed 28/10/2022]

LÄMMÖN KULUTUSJOUSTON MAHDOLLISUUDET

Paulus Kiviranta & Tuija Korpela & Erja Tuliniemi

Lämmön kulutusjouston toimintatapoja hetkittäisen lämmitysenergiankäytön ja siten hiilidioksidipäästöjen vähentämisen kannalta on tutkittu Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulun TKI-hankkeessa ”Kulutusjouston mahdollisuudet” (Kuluma). Lämmityskauden 2021–2022 aikana pilotoitiin lämmön kulutusjoustoja kahdessa eri kohteessa Kymenlaakson alueella sekä kartoitettiin kyselytutkimuksen avulla kuluttajien valmiuksia ja kiinnostusta osallistua lämmön kulutusjoustoan. Lämmönkulutusjouston pilotoinnit tehtiin yhteistyössä eGain Finland Oy:n, Kotkan kaupungin ja Kouvolan kaupungin kanssa. Hankkeen päärahoittajana toimi Euroopan aluekehitysrahasto (EAKR) Kymenlaakson liiton koordinoimana.

JOHDANTO

Perinteiset kaukolämmön tuottajat ovat murroksessa vanhojen ja uusien ekologisesti kestävämpien lämmön tuotantotapojen välillä. Esimerkiksi Helsingissä energiayhtiö Helen on ilmoittanut lopettavansa kivihiilen käytön 1.4.2024 mennessä (Helen uutiset 2021). Kaukolämmön tuotannon siirtyminen hajautetumpiin ja hiilineutraalimpiin tuotantotapoihin (hukkalämmöt, lämpöpumput, lämpövarastot) lisäävät tarvetta lämmön kulutusjoustoille.

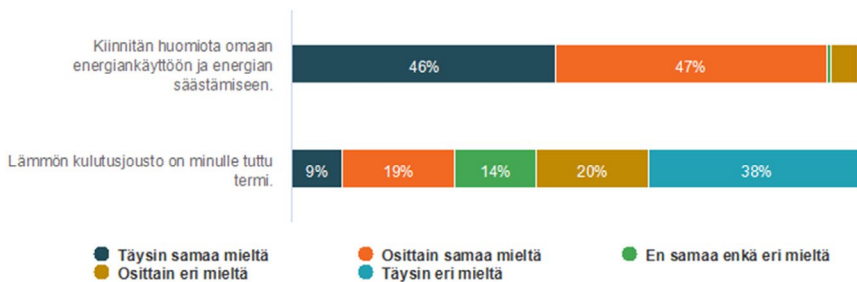
Hankkeen tavoitteena on saada lisättyä lämmön kulutusjoustoan liittyvää tietoisuutta ja luoda kiinnostusta sekä kehittää uusia tapoja energia- ja hiilidioksidipäästöjen vähentämiseen.

Lämmön kulutusjoustolla tarkoitetaan lämmityksen energiankulutuksen hetkittäistä vähentämistä tai siirtämistä niiltä ajanhetkiltä, kun kulutus on suurinta ja lämmityksen hinta on korkeimmillaan. Kulutusjousto voi käytännössä tarkoittaa esimerkiksi tilannetta, jossa rakennuksen lämmitysenergian käyttöä hetkellisesti vähennetään. Kulutusjouston toimenpiteinä voi olla esimerkiksi lämmitysverkoston tai ilmanvaihdon lämpöenergian käytön vähentäminen. Kulutusjouston aikana pyritään pitämään asuinolosuhteet mahdollisimman vakiona hyödyntämällä rakennusten luontaista lämmönvarauskykyä tai tarpeenmukaisella yllilämmittämisellä ennen tai jälkeen leikkauksen. Kulutusjousto perustuu siihen, että edellä mainitut toimenpiteet lämmön rajoittamisessa eivät vaikuta heikentävästi kiinteistön käyttäjien asumismukavuuteen, mutta pienentävät energiankulutusta. (Motiva 2022)

Lämmön kulutusjousto voi tuoda asiakkaan näkökulmasta katsottuna huokeampia energiamaksuja. Energiayhtiö puolestaan hyötyy lämmön kulutusjoustosta varavoimallaitosten käytön vähentämisellä, jolloin lämmön tuotantokustannukset ja hiilidioksidipäästöt laskevat. Lämmön kulutusjouston tarve tulee lisääntymään tulevaisuudessa polttoon perustuvan lämmöntuotannon vähentyessä ja uusiutuvien energiamuotojen sekä sähkön perustuvien lämmitysmuotojen lisääntyessä yhä enemmän myös kaukolämmön tuotannossa. (Tampereen sähkölaitos 2018)

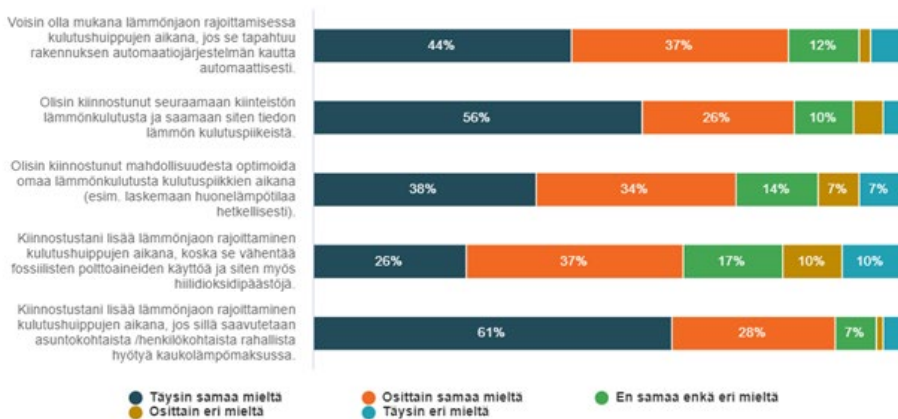
KYSELYTUTKIMUS LÄMMÖN KULUTUSJOUSTOSTA KYMENLAAKSON ALUEEN KAUKOLÄMPÖASIAKKAILLE

Hankkeessa teetettiin kyselytutkimus Kymenlaakson alueen kaukolämpöasiakkaille, ja sillä selvitettiin heidän suhtautumistaan energiankäyttöön sekä valmiuksia ja kiinnostusta osallistua kaukolämmön kulutusjoustoon. Kyselyyn vastasi noin 150 henkilöä. Vastaajista jopa 93 prosenttia on joko osittain tai täysin samaa mieltä siitä, että he kiinnittävät huomiota omaan energiankulutukseensa ja energian säästämiseen (kuva 1). Kyselystä selvisi myös, että lämmön kulutusjousto on suurimmalle osalle (57 %) joko täysin tuntematon tai osittain tuntematon käsite (kuva 1).



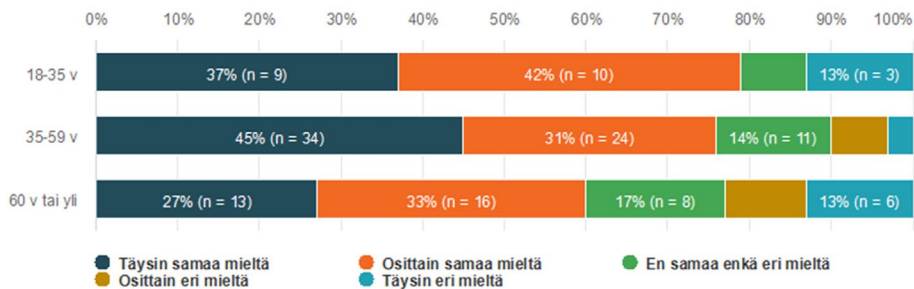
KUVA 1. Kuinka hyvin nämä väittämät kuvaavat Teitä? (n=148) (kuva Tuija Korpela)

Kyselyssä selvitettiin myös, mitä ihmiset olisivat valmiita tekemään jouston mahdollistamiseksi ja minkälainen hyöty siitä tulisi saada. Vastaukset osoittivat, että lämmön kulutusjoustoon osallistumisen toimet saavat suurelta osin myönteisen vastaanoton: kaikista vastaajista enemmistö olisi valmis olemaan mukana lämmönjaon rajoittamisessa, jos se tapahtuu automaattisesti järjestelmien kautta (81 %) tai jopa itse valmis optimoimaan kulutusta (74 %) (kuva 2).



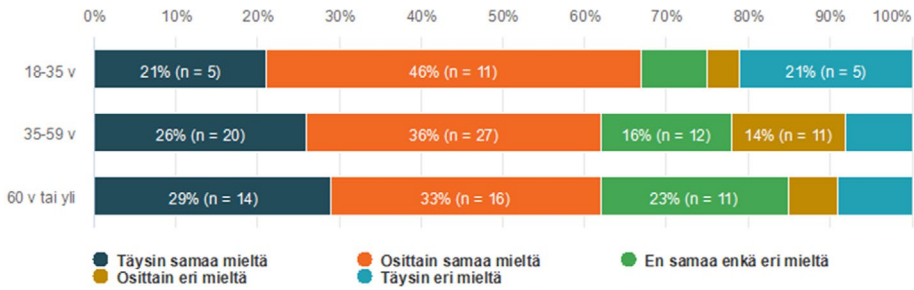
KUVA 2. Kuinka hyvin nämä väittämät kuvaavat Teitä? (n=148) (kuva Tuija Korpela)

Eri ikäryhmien välillä ei ollut suuria eroja kiinnostuksessa lämmönkulutuksen optimointiin. Hieman vähäisempää tämä oli ikäluokassa 60 vuotta tai yli, mutta kuitenkin 60 prosenttia olisi valmis toimimaan (kuva 3).



KUVA 3. Oaisin kiinnostunut mahdollisuudesta optimoida omaa lämmönkulutusta kulutuspiikkien aikana (esim. laskemaan lämpötilaa hetkellisesti). (n=148) (kuva Tuija Korpela)

Lämmön kulutusjousto asumisen hiilidioksidipäästöjen vähentämiseksi kiinnostaa myös ja on tärkeää kaikissa ikäryhmissä (63–67 %) (kuva 4). Odotetusti myös henkilökohtainen hyöty maksuissa kiinnosti lähes kaikkia.



KUVA 4. Kiinnostustani lisää lämmönjaon rajoittaminen kulutushuippujen aikana, koska se vähentää fossiilisten polttoaineiden käyttöä ja siten myös hiilidioksidipäästöjä. (n=148) (kuva Tuija Korpela)

Jaottelu pelkästään ikäryhmien mukaan ei tuonut esiin suuria eroja. Analysoitaessa tuloksia ikäryhmien ja sukupuolen mukaan saatiin näkemyseroa mielipiteisiin. Ikäryhmissä 25–35- ja 36–59-vuotiaat naiset oltiin samaa tai osittain samaa mieltä runsaslukuisesti (88 %) lämmönkulutuksen optimoinnista ja mahdollisuudesta olla mukana vähentämässä hiilidioksidipäästöjä. Miehillä jakauma oli tasaisempaa ja vähäisempää. Päästövähennysnäkökulma kiinnosti 54 prosenttia miesvastaajista ikäluokassa 36–59. Miehet kuitenkin edustivat kyselyssä suurempaa vastausprosenttia (77 %). Tällöin suuri osuus ympäristönäkökulman huomioimisessa työikäisten naisten joukossa voi selittyä myös sillä, että kyselyyn vastasivat naisista pääasiassa ympäristötietoiset naiset.

Neljä suurinta ammattiryhmää kyselyssä olivat ylempi toimihenkilö, alempi toimihenkilö, työntekijä ja eläkeläinen. Suurta eroa kuvan 2 väittämässä ei ollut ammattiryhmien välillä, joskin muihin verrattuna hieman vähemmän kiinnostusta suorittaa joustotoimenpiteitä, kuten jo aikaisemmin todettu, oli ryhmässä eläkeläiset. Lisäksi jonkin verran vähemmän kiinnostusta positiivisia ympäristövaikutuksia kohtaan oli ryhmässä työntekijät. Vuokralla asuvat ovat yhtä ympäristötietoisia kuin omistusasunnoissa asuvat, mutta kiinnostus energiankulutuksen seuraamiseen ja omatoimiseen optimointiin on suurempaa omistusasunnoissa. Vastaajista 56 prosenttia kiinnostaisi saada lisätietoja kulutusjouston mahdollisuuksista, tiedotteita tai esimerkiksi puhelimeen ilmoituksia toimenpidesuosituksista.

Kysely antaa energiayhtiölle tietoja, miten asukkaat suhtautuvat lämmönkulutusjoustoön liittyviin toimenpiteisiin. Näitä tietoja hyödyntäen he voivat kehittää toimintaansa huomioiden rakennusten käyttäjien toiveita ja tarpeita entistä paremmin. Energiayhtiöiden toiminnan ja uusien palveluiden kehittäminen tuo mukanaan uusia mahdollisuuksia vähentää lämmöntuotannosta aiheutuvia hiilidioksidipäästöjä.

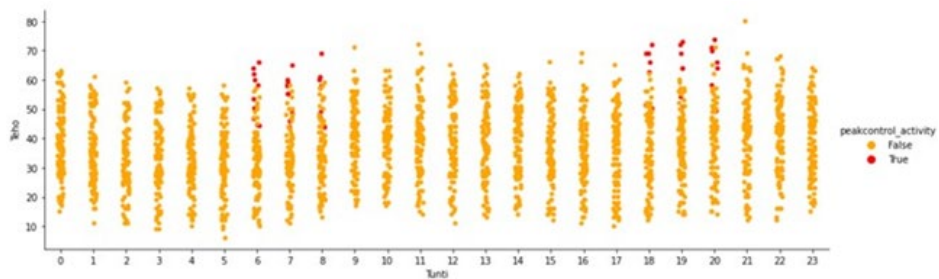
LÄMMÖN KULUTUSJOUSTON PILOTOINTI

Hankkeen aikana kevättalvella 2022 pilotoitiin lämmön kulutusjoustoja kahdessa kohteessa. Kohteet olivat asuinkerrostalo Kotkassa sekä toimitilarakennus Kouvolassa.

PILOTOINTI ASUINKERROSTALOSSA

Hankkeessa tehty lämmönkulutusjouston pilotointi kaukolämmitteisessä asuinkerrostalo-kohteessa koski toimenpiteiltään lämmityksen vähennystä tiettyinä hetkinä. Pilotointi oli kestoltaan 16.2.–28.3.2022. Pilotoinnissa rajoitettiin patteriverkoston menoveden lämpötilaa historiallisen tuntidatan mukaan korkeimpien lämpöenergian kulutusten tunteina. Lisäksi menoveden lämpötilaa alennettiin yöaikaan. Tehdyillä toimenpiteillä ei ollut vaikutusta lämpimän käyttöveden lämpötilaan tai sen saatavuuteen.

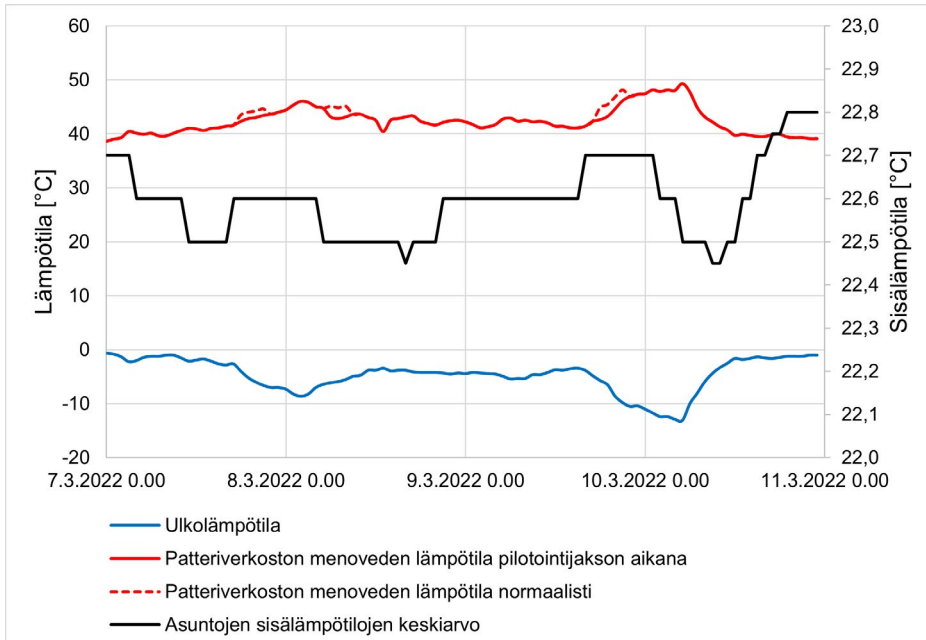
Kulutusjouston pilotointi toteutettiin yhdessä eGain Finland Oy:n kanssa. Heidän tuotteen-
sa on itseoppiva ohjelmisto, joka leikkaa rakennuksen energiankäytön huippuja annettujen parametrien sisällä. Näitä ovat aktivointilämpötila eli ulkolämpötila, jossa huipputehon leikkausta aletaan toteuttamaan, leikkauksen ajankohdat vuorokauden aikana ja kesto sekä patteriverkoston menoveden lämpötilan pudotuksen suuruus. Pilotoinnissa aktivointilämpötila asetettiin $-4\text{ }^{\circ}\text{C}$:seen, leikkauksen ajankohdat historiallisen kulutusdatan perusteella (kuva 5) aamun klo 6.00–9.00 ja illan klo 18.00–23.00 kulutushuippuihin sekä patteriverkoston lämpötilan pudotukseksi $0\text{--}8\text{ }^{\circ}\text{C}$.



KUVA 5. Pilotointikohteen lämpöenergian käyttö vuorokauden aikana talvella 2021–2022. (kuva Paulus Kiviranta)

Huipputehon optimointi siis aktivoituu, kun vastaava ulkolämpötila laskee aktivointilämpötilan ($-4\text{ }^{\circ}\text{C}$) alapuolelle asetettuina ajanhetkinä, jolloin automaatio pudottaa lämmitysverkoston menoveden lämpötilaa. Algoritmi ottaa huomioon sääennusteen, ulkolämpötilan sekä muut sään vaikutukset rakennuksen energiantarpeeseen, joiden perusteella leikkaus pyritään tekemään mahdollisimman huomaamattomasti. Automaatio hoitaa myös tarvittaessa rakennuksen yllämmittämisen ennen tai jälkeen leikkauksen huomaamattomuuden

lisäämiseksi. Kuvassa 6 on esitetty huipunkäytön optimoinnin toiminta ja sen vaikutus sisälämpötilaan neljän vuorokauden aikana menneellä pilotointijaksolla (7.3.–10.3.).

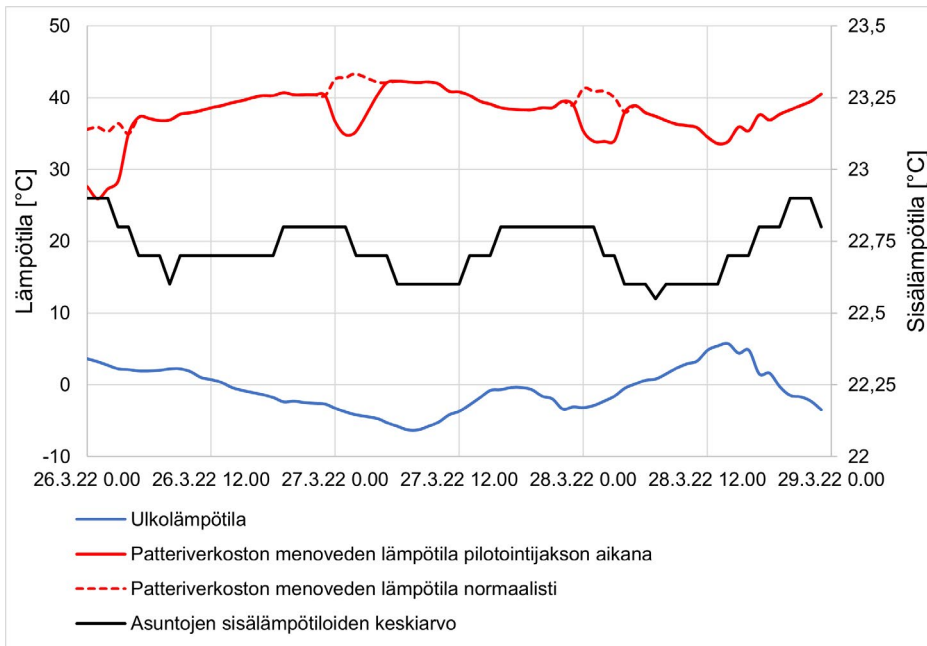


KUVA 6. Esimerkki huipputehon optimoinnista pilotointijaksolla. (kuva Paulus Kiviranta)

Kuvasta voidaan havaita, että toimenpiteillä päästiin noin 0,3–0,4 °C:n hetkellisiin sisälämpötilan keskiarvon pudotuksiin. Yhteensä huipunkäytön optimointi oli aktiivisena kuutena ajankohtana pilotointijakson aikana. Määrä jäi odotettua vähäisemmäksi, koska Kotkan asuntojen toiveena oli ajoittaa pilotointijakso loppupalveen, jolloin sääolosuhteet olivat hankalia kovemmille säädöille (riittävän kovan pakkasen puute).

Huipunkäytön optimoinnin lisäksi lämmön kulutusjoustoja pilotoitiin samassa kohteessa yöaikaisilla säädöillä asuinkerrostalon patteriverkoston menoveden lämpötilaan. Yöaikainen menoveden lämpötilan pudotus oli ”pakotettu”, joka toteutui jokaisena yönä ja jossa ei huomioitu ulkoilman lämpötilaa tai muitakaan olosuhteita. Toimenpiteen tarkoituksena oli selvittää, mikä vaikutus erisuuruksilla menoveden lämpötilan pudotuksilla ja pudotuksen aikaisella kestolla on sisälämpötilaan. Tavoitteena oli hakea raja-arvo, jossa menoveden lämpötilan pudotuksen vaikutus on nähtävissä sisälämpötilassa, mutta ei vaikuta heikentävästi asuinolosuhteisiin. Yöaikaista patteriverkoston lämpötilan pudotusta kasvatettiin vähitellen läpi pilotointijakson. Alkuun pudotuksen suuruus patteriverkoston menoveden lämpötilaan oli 4 °C aikavälillä klo 2.00–4.00. Pilotointijakson lopussa yöaikainen lämpötilan pudotus

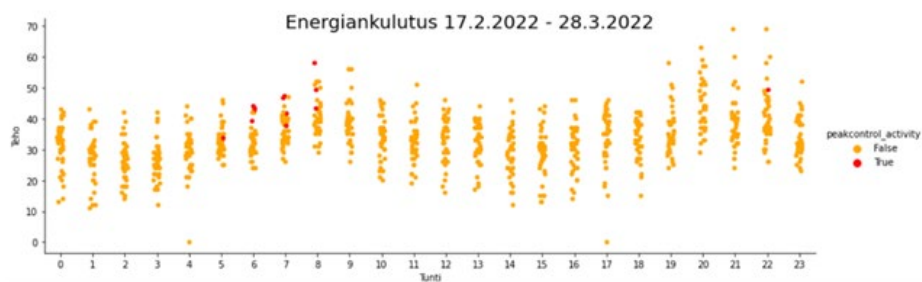
tus oli 8 °C aikavälillä klo 00.00–4.00. Kuvassa 7 on esitetty yöaikaisen patteriverkoston lämpötilan pudotukset ja sen vaikutus sisälämpötilaan kolmen vuorokauden pituisella jaksolla (26.3–28.3.).



KUVA 7. Yöaikainen patteriverkoston lämpötilan pudotus pilotointijaksolla. (kuva Paulus Kiviranta)

Pilotoinnissa havaittiin, että asuinkerrostalokohde varasi lämpöä yllättävän hyvin. Kohteen sisäilman lämpötilat laskivat odotettua vähemmän siitä huolimatta, että patteriverkoston menoveden lämpötilan pudotus oli pilotoinnin loppuvaiheessa hyvinkin kova. Keskimäärin asuntojen sisäilman lämpötilat laskivat noin 0,4–0,5 °C, ja ne palautuivat päivän aikana takaisin keskiarvoonsa. Yksittäisten asuinhuoneistojen kohdalla sisäilman lämpötila laski enimmillään noin yhden celsiusasteen. Tyypillisesti asuinkerrostalon alimpien asuinhuoneistojen sisäilman lämpötilan vaihtelut olivat suurempia. Pilotoinnin tuloksista eGain sai lisätietoja asuntojen käyttäytymisestä lämmön kulutusjouston aikana ja rakennuksen kyvystä varata lämpöä, mitä he pystyvät hyödyntämään myös muissa kohteissa ja tuotteensa jatkokehityksessä.

Kuvassa 8 on esitetty pilotointikohteen lämpöenergian käyttö vuorokauden aikana pilotointijaksolla.



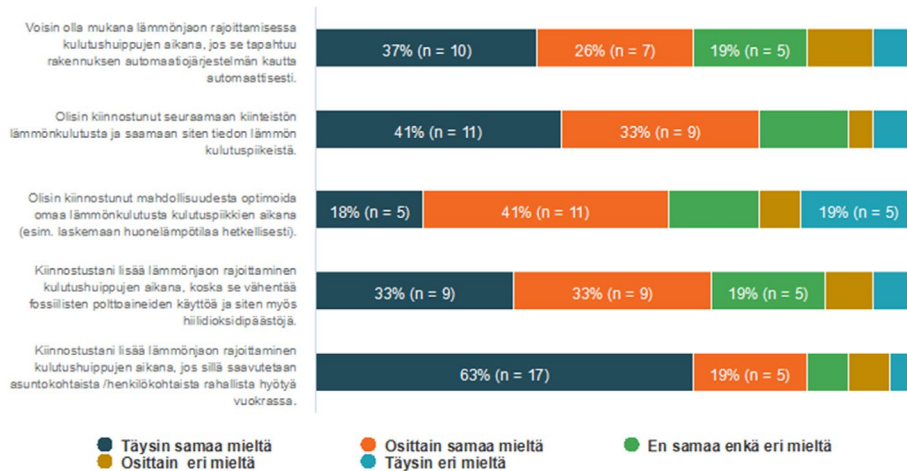
KUVA 8. Pilotointikohteen lämpöenergian käyttö vuorokauden aikana pilotointijaksolla. (kuvaPaulus Kiviranta)

Kuvassa 8 kulutus on ollut huomattavasti alempi yön tunteina, kun yöajan leikkausta tehtiin välillä klo 00.00–4.00. Huippukäytön leikkaus on kuvattu punaisilla pisteillä, joka aktivoitui joitakin kertoja pilotointijakson aikana. Illan tunteina on huippukulutusta, joka johtuu lämpimän käyttöveden kulutuksesta. Verrattuna kuvaan 5 voidaan myös havaita, että rakennuksen lämpöenergian tarve oli pilotointijaksolla vähäisempää verrattuna menneeseen talveen. Pilotointijakso oli tavanomaista leudompia, mikä vaikutti ulkolämpötilaperusteisen huipputehon optimoinnin toteutumien määrään. Energiansäästöksi pilotointijaksolla saatiin 1,33 MWh. Koko lämmityskaudelle skaalattuna pilotointijakson toimenpiteillä saavutettaisiin 9,91 MWh lämpöenergian säästö. Rakennuksen vuotuinen lämpöenergian kulutus on noin 200 MWh, eli pilotissa tehdyillä toimenpiteillä saavutettavat säästöt olisivat noin viisi prosenttia vuotuisesta lämmitysenergiasta.

PILOTOINNIN KYSELYTUTKIMUS

Varsinaisen laajan kyselytutkimuksen lisäksi hankkeessa teetettiin toinen kyselytutkimus liittyen kokemuksiin asuinolosuhteisiin ja mahdollisten poikkeamien havaintoihin pilotointijakson aikana. Kyselytutkimus oli kaksiosainen, ja ennen pilotointijaksoa tiedusteltiin yleisesti asukkaiden mielipiteitä ja valmiuksia lämmön kulutusjousto. Kyselyssä oli kysymyksiä myös asunnon olosuhteista. Kyselyt lähetettiin kahteen kerrostaloon. Nämä olivat pilottikerrostalo, jossa joustotoimenpiteet suoritettiin, ja kerrostalo, joka toimi pilottikohteen verrokkina. Verrokkikohteen kyselyllä haluttiin poistaa muun muassa ensimmäisen kyselyn jälkeen muodostuneet oletukset joustotoimenpidesäädöistä ja niiden vaikutuksista sisäolosuhteisiin sekä edelleen niiden vaikutuksesta vastauksiin. Kyselytutkimuksen tuloksia analysoimalla ja vertaamalla saadaan selville asukkaiden suhtautumista kulutusjousto. Samalla saadaan asukaskokemuksia pilotoinnin vaikutuksista asuinolosuhteisiin.

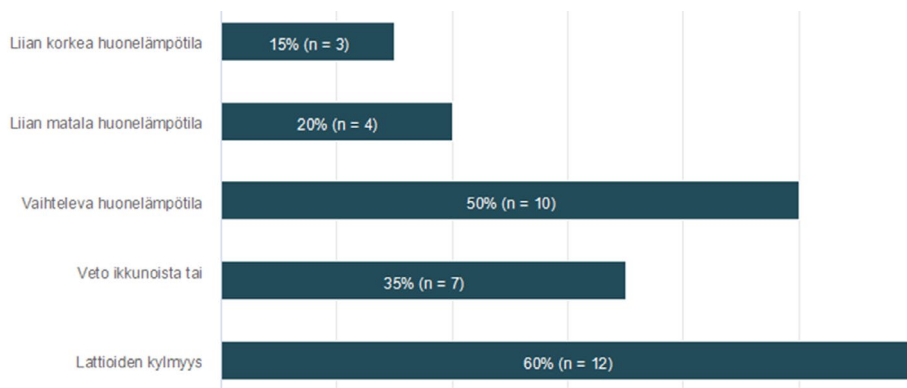
Kuvassa 9 on asukkaiden mielipiteitä kulutusjoustotoimenpiteisiin. Selkeästi suuri osa suhtautuu myönteisesti ja olisi valmis toimimaan. Varsinkin oman energiankulutuksen seuraaminen ja sitä kautta vaikuttaminen kiinnostavat.



KUVA 9. Kuinka hyvin nämä väittämät kuvaavat Teitä? (n=27) (kuva Tuija Korpela)

Tiedotteet toimenpidesuosituksista (esimerkiksi ilmoitus puhelimeen) eivät kuitenkaan ole suosituin menetelmä, ja se kiinnosti 36 prosenttia vastaajista.

Ennen joustotoimenpiteitä pilotti- ja verokkikerrostalon asuinolosuhteiden ongelmiin vastattiin kuvan 10 mukaisesti. Huonelämpötilan taso ei ollut kovinkaan monen mielestä ongelmakohta, vaan ongelmana olivat eniten lämpötilan vaihtelu ja kylmät lattiat.



KUVA 10. Oletteko kokeneet asunnossanne seuraavia ongelmia viime aikoina? (Vastaajien määrä: 20, valittujen vastausten lukumäärä: 36) (kuva Tuija Korpela)

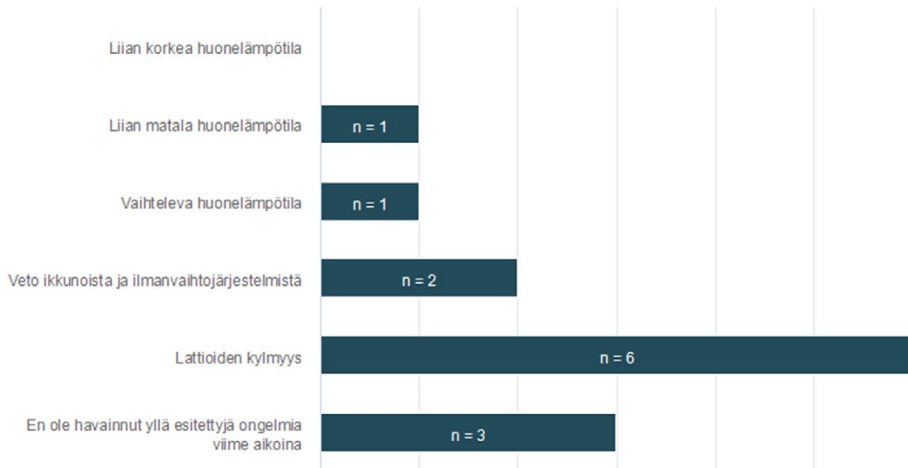
Joustotoimenpiteitä tehtiin reilun kuukauden ajan (helmi–maaliskuu 2022) kohteena olevaan pilottikerrostaloon. Tämän toisen kyselytutkimuksen tarkoituksena oli kartoittaa asukkaiden tuntemia kokemuksia joustotoimenpiteiden aikana. Kysely asunnon olosuhteista lähetettiin myös verrokkikerrostaloon, jossa mitään joustotoimenpiteitä ei tehty.

Kuvissa 11 ja 12 näkyvät vastaukset asunnon olosuhteisiin liittyen. Ensimmäiseen kyselyyn (ennen joustotoimenpiteitä) verrattuna vastausvaihtoehtoihin lisättiin kohta, jos ei ollut kokenut ongelmia. Ylempänä (kuva 11) pilottikohteen vastaukset ja alla (kuva 12) verrokkikohteen vastaavat. Kuvasta 11 (pilottikohde) voidaan havaita, että suurin osa ei kokenut mitään ongelmia asunnon olosuhteissa joustotoimenpiteiden aikana. Tästä voidaan vetää johtopäätös, että lämpötilan hetkelliset laskut eivät tuntuneet liian matalina huonelämpötiloina, vaan korkeintaan vaihtelevana. Vaihtelevaa huonelämpötilaa koettiin kuitenkin myös ennen joustotoimenpiteitä.

Verrokkikohteen kyselyllä haluttiin poistaa muun muassa ensimmäisen kyselyn jälkeen muodostuneet oletukset joustotoimenpidesäädöistä ja niiden vaikutuksista sekä edelleen niiden vaikutuksesta vastauksiin.



KUVA 11. Pilottikohde: Oletteko kokeneet asunnossanne seuraavia ongelmia viime aikoina? (Vastaajien määrä: 10, valittujen vastausten lukumäärä: 15) (kuva Tuija Korpela)



KUVA 12. Verokkikohde: Oletteko kokeneet asunnossanne seuraavia ongelmia viime aikoina? (vastaajien määrä: 12, valittujen vastausten lukumäärä: 13) (kuva Tuija Korpela)

Pilottikohteessa jopa 70 prosenttia vastaajista piti asunnon olosuhteita hyvänä tai erinomaisena joustotoimenpiteiden aikana, ja vastaava lukema verokkikohteessa oli 58 prosenttia. Pääosin kyselyn tulokset pilotti- ja verokkikohteen välillä vastasivat hyvin toisiaan. Koska vastaajamäärät ovat pieniä, tuloksia ei voida pitää täysin luotettavina, mutta suuntaa antavina sille, että lämpötilapudotuksia lämmön kulutusjoustopon mahdollistamiseksi voidaan hallitusti suorittaa asuinmukavuuden siitä kärsimättä.

PILOTOINTI TOIMITILAKOhteESSA

Hankkeen toinen pilottikohde oli Kouvossa sijaitseva kulttuuritalo Kouvolatalo. Pilotoinnissa lämmönrajoituksen toimenpiteet kohdistettiin ilmanvaihtokoneiden lämpöenergian käyttöön. Pilotointijakso viivästyi hieman alkuperäisestä suunnitelmasta, ja pilotointi suoritettiin keuhällä 2022 aikajaksolla 19.4–10.5.

Ennen pilotointia selvitettiin kohteen ilmanvaihtokoneiden lämpöenergian käyttö eri ulkolämpötiloissa sekä aika- ja hiilidioksidiohjaukset, jotta päästiin käsiksi rakennuksen ilmanvaihtokoneiden käyttöasteisiin. Yhteensä kohteessa on kymmenen ilmanvaihtokonetta, joista säätöjä tehtiin viiteen eri ilmanvaihtokoneeseen. Pilotoinnissa tehtiin seuraavia säätöjä ilmanvaihtokoneille. TK01 (Musiikkiopisto) -ilmanvaihtokoneen sisäänpuhallusilman lämpötilaa laskettiin noin 19,5 °C:sta 18 °C:seen. TK02 (Musiikkisali)- ja TK03 (Aula) -ilmanvaihtokoneissa laskettiin tuloilmavirtaamaa vähentämällä kanavapainetta 20 prosentilla. TK02-ilmanvaihtokoneessa tuloilmavirtaama laski 3,0 m³/s:sta 2,6 m³/s:iin ja TK03-koneessa päiväajan asetuksella 1,4 m³/s:sta 1,3 m³/s:iin ja yöajan asetuksella 1,0 m³/s:sta 0,9 m³/s:iin. Lisäksi kaksi ilmanvaihtokonetta TK07 (Toimistotilat) ja TK10

(Työ- ja harrastustilat) pysäytettiin yöajaksi. Toimistotilojen ilmanvaihtokone oli pilotointijaksolla päivittäin sammutettuna kello 19.00–6.00 ja työ- ja harrastustilojen ilmanvaihtokone kello 21.00–6.00.

Yhteensä lämpöenergian säästökksi pilotointijaksolla saatiin 4,5 MWh. Pilotoinnin tulokseen vaikutti ajankohta, joka oli käyttöönoton viivästyksestä johtuen myöhään keväällä. Tälöin ilmanvaihtokoneiden lämmitystarve on melko vähäistä. Koko lämmityskauden ajalle skaalattuna tehdyillä toimenpiteillä saavutettaisiin noin 62 MWh:n energiansäästö. Koko kohteen lämpöenergian kulutus vuosittain on noin 1 000 MWh, eli tehdyillä toimenpiteillä olisi saavutettavissa noin kuuden prosentin energiansäästö. Kiinteistön käyttäjät eivät havainneet poikkeavuuksia tavalliseen verrattuna sisäolosuhteissa.

HANKKEESSA SEURATTUJA KOHTEITA KYMENLAAKSON ALUEELLA

AITAKORVEN KOULU

Hankkeessa seurattiin Kotkan kaupungin kanssa yhteistyössä heidän selvitystään rakennusten energiatehokkuuden parantamisesta käyttöasteen ja käyttöajan mukaan. Selvityksessä tehdyt toimenpiteet kohdistuivat myös ilmanvaihtokoneiden säätöihin ja olivat samantyyppisiä kuin hankkeen toimitilakohdepilotissa. Tehtyjä toimenpiteitä olivat käyttöajan ulkopuoliset ilmajirtojen ja lämpötilojen pudotukset sekä ilmanvaihtokoneiden sammutukset. Selvitys tehtiin Kotkan Aittakorven koulurakennukseen, johon asennettiin Optiwatti Oy:n lämmönoptimointijärjestelmä. Dataa kerättiin Nuuka Solutions Oy:n tiedonkeruujärjestelmän avulla mittausjaksoilta, joiden yhteenlaskettu osuus oli 1–2 vuotta.

Selvityksen tavoitteena oli laatia ohjeistus siitä, miten kiinteistön ilmanvaihtoa ja sisälämpötilaa voidaan kiinteistöautomaation avulla säätää eri käyttötilanteiden mukaan. Lisäksi ohjeistuksella halutaan varmistaa, että sisäilman laatu ja oikeat olosuhteet täyttävät vaatimukset rakennuksen käyttäjien sekä myös itse rakennuksen kannalta. Selvitys tukee Kotkan kaupungin ilmasto-ohjelmaa ja energiatehokkuussopimuksen (KETS) mukaisia tavoitteita.

Selvityksen tuloksena saatiin hyödyllistä tietoa kiinteistön sisäilmaa ja energiankulutusta mittaavista antureista, järjestelmistä ja niiden kustannuksista. Selvityksessä havaittiin, että varsinkin koulukohteissa ja vastaavissa olisi paljon potentiaalia pudottaa ilmanvaihdon ilmajirtoja ja lämpötiloja käyttöajan ulkopuolella öisin, viikonloppuisin ja loma-aikoina. Saatuja tietoja voidaan hyödyntää tulevaisuudessa uudiskohteiden suunnittelussa ja ottaa käyttöön vanhoissa kohteissa. Lisäksi selvityksen tuloksia voidaan hyödyntää kaukolämpöön liitettyjen kohteiden kulutusjoustop toteuttamisessa muun muassa sääennusteiden perusteella säädettyjä lämmityksen säätökäyriä muuttamalla.

KAUPPAKESKUS VETURI

Hankkeessa seurattiin myös Xamkin energiatekniikan opiskelijoiden tekemää energiakatselmusta kauppakeskus Veturille. Energiakatselmuksen pohjalta selvitystyötä jatkettiin Xamkin TKI-hankkeissa Kuluma ja VAU. Tavoitteena oli selvittää kohteen mahdollisuuksia sähkön- ja lämmönkulutusjouston osalta.

Kauppakeskus Veturin energiankäyttö osoittautui selvityksessä tehokkaaksi muun muassa maalämpö- sekä aurinkosähköjärjestelmien ansiosta, eikä suuria kehitystoimenpiteitä noussut esiin. Kohteen ominaiskulutusarvot alittavat vastaavien kauppakeskuskohteiden yleisen tason vertailuarvot. Sähkön kulutusjouston osalta selvitettiin mahdollisuutta kauppakeskuksen ilmanvaihtokoneiden hetkellistä sähkötehoa säätämällä osallistua Fingridin reservimarkkinoille. Selvityksen tuloksena kauppakeskus Veturilla on mahdollisuus osallistua reservimarkkinoille pienellä kapasiteetilla. Kauppakeskuksen maalämpöjärjestelmän ansiosta lämmön kulutusjoustolle ei ole kohteessa vastaavaa tarvetta verrattuna kohteisiin, joissa ainoana lämmitysmuotona on kaukolämmitys. Kehitysideaksi kuitenkin nousi esiin lämpimän käyttöveden esilämmitys maalämpöjärjestelmän avulla silloin, kun maalämpöä on hyödynnettävissä ylimäärin. Esimerkiksi yöaikaan ilmanvaihtokoneet ovat sammuksissa ja tällöin maalämmön kapasiteettia voisi hyödyntää lämpimän käyttöveden lämmityksessä ja vähentää näin kaukolämmön tarvetta ja kulutushuippuja.

JOHTOPÄÄTÖKSET

Kuluma-hankkeen tavoitteena oli selvittää lämmön kulutusjouston mahdollisuuksia energia- ja kustannussäästöissä edistäen Kymenlaakson vähähiilisyttä ja hiilineutraaliutta. Lisäksi haluttiin selvittää kuluttajien tietotasoa ja valmiuksia osallistua lämmön kulutusjoustoon. Tämä toteutettiin laajan mielipidekyselyn avulla, johon vastattiin runsaslukuisesti. Mielipiteitä saatiin lähes 150:ltä kaukolämmön kuluttajalta. Oman energiankulutuksen seuraaminen ja energian säästäminen ovat selkeästi tärkeitä kuluttajille. Vallitseva maailmantilanne energian hintojen nousun ja energian riittävyyden myötä lisäänee kiinnostusta ja toimimista edelleen.

Toisaalta lämmön kulutusjousto on suurimmalle osalle kuluttajista melko tuntematon käsite, joten tarve kuluttajien ohjeistukseen on olemassa. Informaatio-ohjaus voisi olla toimiva keino, sillä esimerkiksi mahdollistamalla oman kulutuksen reaaliaikainen seuranta ja siten kulutuksen vähentäminen huippukulustunteina kiinnosti suurinta osaa vastaajista.

Pilotoinneilla tarkasteltiin kaukolämmön kulutuksen hetkellistä vähentämistä ja sitä kautta lämpötehon kulutushuipun leikkausta eri keinoin asuinkerrostalossa ja toimitilakohteessa. Tavoite oli suorittaa lämpötehon leikkaukset lämmityskauden aikana mahdollisimman tehokkaasti niin, että käyttäjät eivät koe tilojen olosuhteissa muutoksia. Hankkeen pilo-

toinneissa huipputehoa saatiin madallettua onnistuneesti olosuhteiden tästä heikentymättä. Pilotointien tuloksena lämmön kulutusjoustolla voidaan saavuttaa viiden prosentin vuotuinen energiansäästö tehdyillä toimenpiteillä.

Lämmön kulutusjousto on ajankohtainen ja kiinnostusta herättävä aihe. Korkeiden energiahintojen myötä energiansäästön merkitys kuluttajien keskuudessa on kasvanut, sillä kulutushuippujen aikainen energiamaksu on noussut fossiilisten polttoaineiden hintojen nousun myötä. Tämän myötä lämmön kulutusjouston merkitys tulee edelleen korostumaan. Lisäksi lämmöntuotannon siirtyminen polttoon perustuvista tuotantotavoista lämpöpumppuihin ja ylijäämälämpöjen hyödyntämiseen mahdollisesti lisää kulutusjouston tarvetta. Hankkeen tuloksena on löytynyt uusia toimintamalleja lämmön kulutusjoustoön erityyppisissä kiinteistöissä.

LÄHTEET

Helen uutiset, 2021. Helen lopettaa hiilen käytön yli viisi vuotta suunniteltua aiemmin. Saatavissa: <https://www.helen.fi/uutiset/2021/helen-lopettaa-hiilen-kayton-yli-viisi-vuotta-suunniteltua-aiemmin> [viitattu 28.10.2022]

Motiva, 2022. Kulutusjoustoön osallistuminen ja huipputehon vähentäminen. Saatavissa: https://www.motiva.fi/koti_ja_asuminen/taloyhtiöt_-_yhdessä_energiatohokkaasti/taloautomaatio/kulutusjoustoön_osallistuminen_ja_huipputehon_vahentaminen#:~:text=S%C3%A4hk%C3%B6n%20ja%20l%C3%A4mm%C3%B6n%20kulutusjoustolla%20tarkoitetaan,alenee%20ja%20kulutushuippuja%20saadaan%20pienennetty%C3%A4. [viitattu 28.10.2022]

Tampereen Sähkölaitos, 2018. Älykäs kaukolämpö. Saatavissa <https://www.sahkolaitos.fi/blogiarkisto/alykas-kaukolampo--projektissa-saavutettiin-5-10--kustannussaastot/> [viitattu 28.10.2022]

ALUEELLISTA YHTEISTYÖTÄ YLIJÄÄMÄLÄMPÖJEN HYÖDYNTÄMISEN PARISSA

Paulus Kiviranta & Erja Tuliniemi & Hannu Sarvelainen

Alueellinen vaikuttaminen yhteistyössä eri toimijoiden kanssa luo hyviä tuloksia alueen elinkeinolle ja toimintaympäristölle. Kymenlaaksossa energiatehokkuuden kehittämistä on toteutettu yhdessä alueen toimijoiden kesken kolmikanta-periaatteella. Mukana kehitystyössä on ollut Kymenlaakson yrityksiä ja kuntia, Xamkin tutkimus-, kehittämis- ja koulutusyksiköitä sekä Xamkin opiskelijoita.

Epävarmuuden sietokyky on noussut vahvemmin esille vuosien 2020–2022 aikana. Yhdessä toimimisen edellytyksenä edellä mainittu ja muut tärkeät taidot, kuten ongelmanratkaisu- ja työelämätaidot, nostavat rooliaan muuttuvassa maailman tilanteessa. Opintojen aikana harjoiteltu malli kantaa tulevaisuudessa, ja samalla osaaminen kasvaa kaikilla kolmikannan osapuolilla.

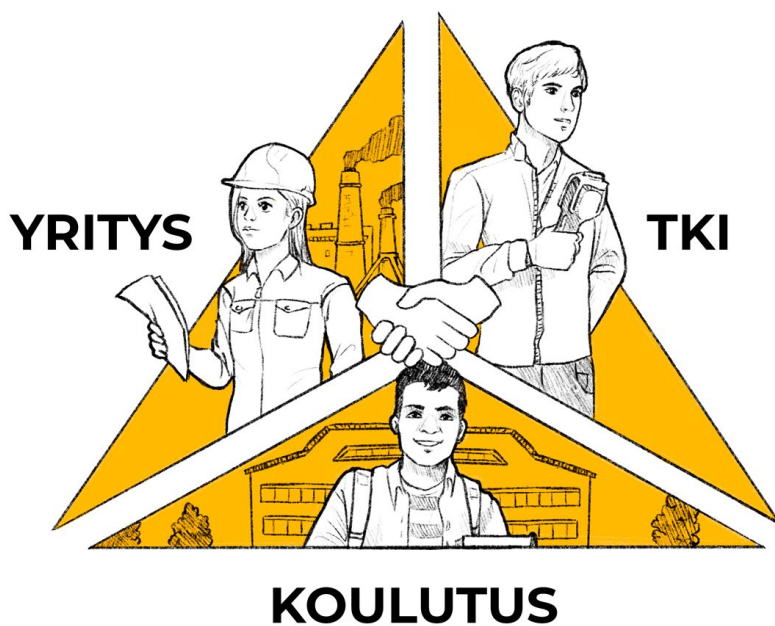
Hukkaveks – Hukkälämmön verkostot ja hyödyntämismahdollisuudet -hanketta on toteutettu Kymenlaaksossa vuosina 2020–2022. Hankkeen rahoitus tulee Kymenlaakson liiton puoltamana Uudenmaan liitolta Euroopan aluekehitysrahastolta (EAKR). Hankkeessa on löydetty toimintamalleja ylijäämälämmön hyödyntämiseen liittyen ja toteutettu pilotointeja Kymenlaakson alueella. Onnistuneiden tulosten taustalla on yhdessä tekeminen, jota on kolmikannan muodossa toteutettu koko hankkeen ajan todellisten tarvelähtöisten ja käytännönläheisten projektien muodossa.

JOHDANTO

Yritysyhteistyö mahdollistaa yrityksen toiminnan kehittämistä, mutta vaatii paljon kaikilta osapuolilta. Projektien sisällöt vaihtelevat aihealueiden ja teknisen vaatimustason osalta, jolloin muodostuu tarpeita koulutuksen muuntautumistarpeeseen. Tutkimus- ja kehitystoiminnan suunnittelussa on huomioitava koulutuksen mahdollisuudet ja päinvastoin. Yritykset saavat tuloksina ajantasaisia näkemyksiä ja teknisiä ratkaisuja kehitystarpeisiin.

Kolmikantamallien kehittäminen yritysyhteistyön lisäämiseksi on ollut kasvusuuntaista viimeisen vuosikymmenen aikana. Malleja on kehitetty opettajien, opiskelijoiden ja yritysten näkökulmasta kannustaen uudenlaiseen ajatteluun ja ratkaisuihin. Projektimuotoisesta

yhteistyöstä käytetään useasti nimitystä kolmikantamalli, jossa on toimeksiantaja, ohjaaja ja tekijä. Toimeksiantajana yhteistyöprojekteissa pääsääntöisesti toimii Kymenlaakson alueen yritykset ja kunnat Xamkin tutkimus- ja kehityshankkeen kautta, ohjaajana toimii Xamkin koulutus ja tekijänä Xamkin opiskelijat. Projekteissa on todellisia ja käytännönläheisiä kehitystarpeita, joihin pyritään löytämään ratkaisu. Sisällöltään projektit vaihtelevat teoreettisista esiselvityksistä erilaisiin todellisiin suunnitelmiin ja käytännön toteutuksiin.



KUVA 1. Kolmikantamallin periaate (Tussitaikurit, Ronja Pölkki)

Tässä julkaisussa käydään läpi hankkeessa kolmikanta-periaatteella toteutettujen yhteistyöprojektien malleja ja kokemuksia toimeksiantajan, ohjaajan ja tekijän näkökulmasta. Kolmikantaperiaatteen integrointi TKI-toiminnan ja opetuksen välillä on yksi Xamkin vahvuuksista, jonka parissa Kymenlaaksossa energiatehokkuudessa on tehty aktiivista työtä vuodesta 2013 lähtien.

KOLMIKANTAMALLIN KOKEMUKSIA ERI NÄKÖKULMISTA

Seuraavassa on esitetty kolmikantamallin näkökulmia TKI-toiminnan, koulutuksen ja opiskelijoiden kokemuksiin perustuen. Jokaisen toimijan kannalta on tuotu esille hyviä käytäntöjä, kokemuksia ja kehitysideita.

TKI:N NÄKÖKULMA

Tutkimus-, kehitys- ja innovaatiotoiminnan (TKI) päätavoitteena on elinvoimaisuuden vahvistaminen maakunnan alueella. Xamkissa kehitystoiminta energiatehokkuuden ympärillä on keskittynyt Kymenlaakson alueelle. Yritysten ja yrittäjyyden tukeminen on osa kehitystoimintaa ja alueen elinvoimaisuuden vahvistamista. Energiatehokkuuden parissa tehdään aktiivista yhteistyötä kumppaneiden kanssa vastaten yritysten, työelämän ja maakunnan asukkaiden tarpeisiin. TKI-hankkeissa saadun kokemuksen perusteella kehitystoimintaa viedään eteenpäin. Tärkeä on lisätä kehitystoiminnan vaikuttavuutta alueella, jossa henkilöstön monipuolisen osaamisen hyödyntäminen on avainasemassa.

Kehitystoiminta perustuu ulkopuoliseen hankerahoitukseen, jonka toteutuksessa noudatetaan hankesuunnitelmaa. Hankkeelle on myönnetty ennalta sovittu rahoitus tietyllä ajanjaksolle, jona aikana sovitut toimenpiteet ja tulokset tulee saavuttaa. Ulkopuolisen rahoituksen päärahoittajana tyypillisesti toimii maakuntaliitto, ja muita rahoittavia tahoja ovat alueen yritykset, kunnat ja elinkeinoyhtiöt.

Kun hankerahoitus saadaan, käydään tarkempia keskusteluja alueen yritysten kanssa heidän tarpeistaan ja toiveistaan hankkeessa toteutettaviin sisältöihin liittyen. Käytyjen keskustelujen pohjalta tarkennetaan hankkeen toteutussuunnitelmaa. Tämän jälkeen saadaan opiskelijoille sopivia projekteja osaksi opintoja. Opiskelijayhteistyön hyödyt kehityshankkeelle ovat monipuolisia, koska ne mahdollistavat laajemman tiedon saatavuuden ja perehtymisen tarkasti yksityiskohtaisiin asioihin esimerkiksi opinnäytetyössä.

Kolmikantamalla on käytetty vuodesta 2013 lähtien Kotkan Xamkin energiapuolen tki-, koulutus- ja yritys yhteistyössä. Tämä on ollut toimintatapana hyväksi havaittu, ja sitä kehitetään jatkuvasti eteenpäin.

Hankkeen aikana on kertynyt 263 opintopistettä, joista 105 on opinnäytetöistä (7 kpl).

PEDAGOGINEN NÄKÖKULMA

Opetuksen ja TKI-toiminnan yhteistyö mahdollistaa meneillään olevien TKI-hankkeiden osatoteuttamisen koulutuksen sisällä (opintojaksot, opinnäytetyö ja harjoittelu). Opiskelijat pääsevät tällä tavalla mukaan TKI-toimintaan, ja opetuksessa voidaan painottaa käynnissä olevien TKI-hankkeiden asioita. Opiskelijat saavat tällöin myös todellisia projekteja ja harjoitustöitä opintojaksoille, jolloin opintojaksojen sisältö vastaa paremmin työelämän tarpeita.

Opiskelijan keskeiset elementit oppimisen onnistumisessa ovat opiskelumotivaatio sekä halu oppia uusia asioita ja kehittyä oman alan asiantuntijaksi. Todelliset käytännön projektit tukevat oppimista, koska tehtävänannossa olevat lähtötiedot ovat todellisia. Yrityksien kautta

saadaan myös yleensä positiivista ilmapiiriä ja opiskelijat innostuvat projekteista. Tämä edistää oppimista entisestään. Opiskelijalle muodostuu tällöin myös mahdollisuus kehittyä opintojensa aikana esimerkiksi tutkimusinsinöörin työtehtäviin. Valmistumisen jälkeen opiskelija voi olla tällaisissa työtehtävissä yrityksen tai oppilaitoksen TKI-toiminnassa.



KUVA 2. Energiatekniikan opiskelija valmistelemaan kenttämittauksia (kuva Raino Hellberg).

Opettajien työelämälähtöinen osaaminen ja opettamistapa ovat tärkeitä opintojakson onnistuneen toteuttamisen kannalta. Opintojaksolla ei voida opettaa kaikenkattavasti asioita, jotka sopisivat kaikkiin työelämän vaatimuksiin. Yhteistyössä yritysten ja TKI-toiminnan kanssa voidaan keskustella tärkeimmistä vaatimuksista ja tuoda opetukseen näitä enemmän mukaan. Koulutuksen tarkoituksena on toisaalta antaa alan perustietoja opiskelijoille, jolloin opiskelijan on mahdollista soveltaa tietoa jatkossa todellisissa työelämäprojekteissa. Kolmikantamallin mukainen toiminta tukee laadukasta opetusta ja mahdollistaa opetuksen pysymisen työelämän vaatimusten mukaisena.

OPISKELIJOIDEN NÄKÖKULMA

Opiskelijoilta kerättiin mielipiteitä kolmikantamallista työharjoittelun, opinnäytetyön ja opintojakson perusteella. Heiltä kysyttiin projektin sisällöstä, hyödyistä, kokemuksista ja toimivuudesta opiskelijan ja toimeksiantajan näkökulmasta seuraavilla kysymyksillä:

1. Mitä olet tehnyt projektissa?
2. Mitä hyötyä projektista oli itsellesi?
3. Miten toimiva projekti oli tällä periaatteella ja miten koit toteutuksen?
4. Millaista hyötyä koit tästä olevan toimeksiantajalle?

Harjoittelu Merimuseo Vellamossa

1. Selvitin Merimuseo Vellamon jäädytystarvetta. Laskimme työparin kanssa kesän sähkönkulutuksen perusteella jäädytykseen kuluva energiaa, josta tehtiin sovite jäädytyksen sähköenergiantarpeeseen eri ulkolämpötiloilla.
2. Ymmärrys energialaskentaan kasvoi. Jäädytystä ei ollut erityisemmin käyty läpi millään kurssilla, niin sai harjoittelua ja lisää ymmärrystä siihen. Teoriaa lukiessa kasvoi ymmärrys erilaisten rakennuksien jäädytykseen ja erityisesti museoiden tarpeeseen pitää yllä tietynlainen kosteustasapaino ja lämpötila. Projektissa saatiin tuloksena ennakointia jäädytyksen sähköenergiakulutukseen ulkolämpötilan mukaan ja tietoa siitä kuinka paljon energiaa kuluu jäädytykseen.
3. Projektilla oli hyvä ohjaus alussa ja lopussa, mutta kesäaikana ohjausta olisi voinut olla enemmän. Jatkossa olisi hyvä, että olisi selkeät ohjeet ja aikataulut mitä on tehtävä ja mitä halutaan lopputulokseksi. Tällaisia projekteja tulisi tarjota enemmän opiskelijoille. Vanhempien vuosikurssien opiskelijat voisi myös kertoa omista kokemuksistaan projekteissa ja opinnäytetyöissä.

Opinnäytetyö TKI-hankkeessa

1. Sain mahdollisuuden suorittaa opinnäytetyöni TKI-toiminnan Metsä, ympäristö ja energia -vahuusosalalle. Pohjalla oli oma aiheidea, jota täydennettiin vastaamaan TKI-toiminnan tarvetta. Kokonaisuudessaan opinnäytetyön aihe muodostui vastaamaan omaa kiinnostusta, ja siksi opinnäytetyön parissa oli äärimmäisen mielenkiintoista ja antoisaa työskennellä.
2. Opinnäytetyö kasvatti ja kypsensi omaa ajattelutapaani valtavasti. Tutkimuksellinen työ rakentui tiedonhaun ja oman osaamisen syventämiseen, ja opinnäytetyöhön päätyneet valtava, mutta harkittu tietomäärä kertoo aiheeseen syventymisestä, kiinnostuksesta ja soveltamisesta. Ennen opinnäytetyön aloittamista aiheeseen liittyvät pääaiheet olivat käsitteinä suhteellisen vieraita, ja työtä aloittaessa en ollut täysin varma, minkälainen lopputulos tulee olemaan. Työn valmistuttua, en voi olla muuta kuin äärimmäisen tyytyväinen ja kiitollinen. Aiheen tärkeys ja siihen liittyvät tulevaisuuden mahdollisuudet avasivat näkökulmia täysin uudella tavalla.
3. Opinnäytetyöprosessi oli kokonaisuudessaan todella sujuvaa ja luonnollista toteuttaa. Projektin etenemistä seurattiin riittävällä jaksotuksella, jonka ansiosta työ valmistui aikataulua edellä. Opinnäytetyö eteni toisaalta hyvin itseohjautuvasti, joka soveltuvi työn tutkimukselliseen otteeseen. Toteutus oli omaa optimaalista toimintatapaa tukeva, ja koen, että juuri tällä tavalla päästiin parhaimpaan mahdolliseen lopputulokseen.

4. Opinnäytetyön tarkoitus oli tarjota TKI-toiminnassa alkavalle hankkeelle esiselvitystyö. Aiheen laajuus ja toisaalta monipuolisuus mahdollistaa opinnäytetyön hyödyntämisen myös muissa projekteissa ja hankkeissa. Opinnäytetyöhön on valikoitu lähdetiedot kriittisesti ja useita lähteitä vertaillen, joka osaltaan johtaa monikäyttöiseen ja laadukaaseen tutkimustyötulokseen.

Energiakatselmusprojekti-opintojakso

1. Teimme keväällä 2021 ryhmätyönä energiakatselmuksen Koriolla sijaitsevaan Suomen Viljava Oy -yritykseen. Energiakatselmus keskittyi pääasiassa kattilalaitoksen toiminnan tarkasteluun.
2. Projekti antoi näkökulmaa, mitä todellisuudessa kentällä pääsee tekemään ja näkemään, verrattuna mitä hienoja kuvia näytetään koulun materiaaleissa. Teoriaopinnot tukevat tekemistä, mutta käytännönläheinen tekeminen jää paremmin mieleen ja on mielekkäämpää. Projektit ovat parhaita, kun pystyy hyödyntämään opittuja asioita käytännössä. Yrityksien kanssa tehtävissä yhteistyöprojekteissa oppii myös tärkeitä työelämätaitoja kuten projektin aikataulutusta.
3. Projektin toteutus oli hyvä, mutta olisin toivonut aktiivisuutta enemmän tilaajan puolelta. Teimme laskentaa ja analysointia usein pelkästään omassa porukassa esimerkiksi kattilan hyötysuhteen määrittämisestä ja tähän meni suurin aika. Pääsimme kuitenkin tuloksiin mitä miellytti tilaajaa. Meillä ei ollut tietoa ottaako työn tilaaja projektin tuloksien perusteella tehdyt muutosehdotukset käytäntöön, mutta saimme tehtyä projektin valmiiksi tavoitteiden mukaisesti.
4. Toimeksiantaja sai ”avaimet käteen” -periaatteella ohjeistuksen kattilan hyötysuhteen parantamiseksi. Ohjeistuksessa kerrottiin primääri- ja sekundaaripuhaltimien oikeanlaisesta käytöstä. Ohjeistuksessa oli myös investointilaskelmat omaan briketöntijärjestelmään.

KOULUTUKSEN JA TKI:N YHTEISTYÖN KEHITTÄMINEN

Ammattikorkeakoulujen koulutuksen, TKI-toiminnan ja alueen yritysten välille on mahdollista luoda toimivaa yhteistyötä, mikä hyödyttää kaikkia osapuolia. Tämänkaltaista kolmikantamallia on toteutettu Xamkin energiapuolen koulutuksen, TKI:n ja yritysten kanssa yhteistyössä jo vuodesta 2013 lähtien, ja se on havaittu edelleen toimivaksi toimintatavaksi ”Hukkalämmön verkostot ja hyödyntämismahdollisuudet Kymenlaaksossa – Hukkaveks” -hankkeessa.

Hankkeen aikana toteutettiin monia projekteja kolmikantamallia käyttäen. Esimerkiksi opinnäytetöitä tehtiin seitsemän kappaletta. Opiskelijoilta saadun palautteen perusteella käytäntö on osoittanut mieluisaksi ja opettavaiseksi. Projektit koetaan usein käytännönläheisiksi, ja ne tukevat perinteistä teoriaopetusta ja valmistavat työelämään. Kolmikantamallin mukaista toimintaa jatketaan myös tulevaisuudessa ja pyritään kehittämään entistä paremmaksi.

VIRTUAALIVOIMALAITOKSET JA ENERGIAYHTEISÖT OSANA JOUSTAVAA SÄHKÖVERKKOA

Turo Laine & Erja Tuliniemi & Tomi Höök

Uusiutuvien energialähteiden osuuden kasvaessa lisääntyy myös joustokapasiteetin tarve. VAU (Virtuaalivoimalan avulla uusiutuva energia hallitusti hyötykäyttöön) -selvityshankkeen painopisteenä oli virtuaalivoimaloiden ja energiayhteisöiden potentiaalinen kartoittaminen Kymenlaakson alueella. Nämä konseptit voidaan yhdistää joustavaksi itsenäiseksi kokonaisuudeksi, joka palvelee niin kantaverkon joustotarvetta kuin osallistuvien kiinteistöjen sisäistä kulutusjoustoja. Selvitystä tehtiin case-kohteiden avulla, joista virtuaalivoimalan esimerkikohteena toimi kauppakeskus Veturi ja energiayhteisön osalta tarkasteltiin Kotkan Kantasataman aluetta. Hankkeessa oleellisena osana oli myös uudistuneen sähkömarkkinan vaikutusten selvittäminen sähkön hajautettuun pientuotantoon. Hankkeen päärahoittajana on Kymenlaakson liitto, MOKRA-rahoitus.

ENERGIAMURROS LISÄÄ JOUSTON TARVETTA

Kysyntäjoustoja tarvitaan, koska joustamattoman sähköenergian tuotanto Suomessa lisääntyy ydinvoiman ja uusiutuvan energian, erityisesti tuuli- ja aurinkosähkön muodossa. Kun tuotantoa pystytään lisäämään tai vähentämään tarpeen vaatiessa, puhutaan säätövoimasta. Säätövoimaa tehdään usein hyödyntämällä fossiilisia polttoaineita, ja niiden käytön vähentämisen seurauksena säätövoiman tuottamisesta tulee ongelmallista. Hetkellistä säätöä verkkoon voidaan tarjota myös hetkellisen sähkönkulutuksen muutoksilla. Lyhytaikaisen kulutusjouston mahdollisuus tukee verkon vakaata toimintaa esimerkiksi pilvisillä ja tuuletomilla hetkillä, jolloin aurinko- ja tuulivoimaa ei ole saatavilla. On toki muistettava, että huippukulutuksen aikana keskellä talvea hetkellinen kulutusjousto ei kuitenkaan korvaa sähköntuotannon mahdollista vajetta pitkällä aikavälillä.



KUVA 1. VAU-hankkeen hankekuva (Gettyimages)

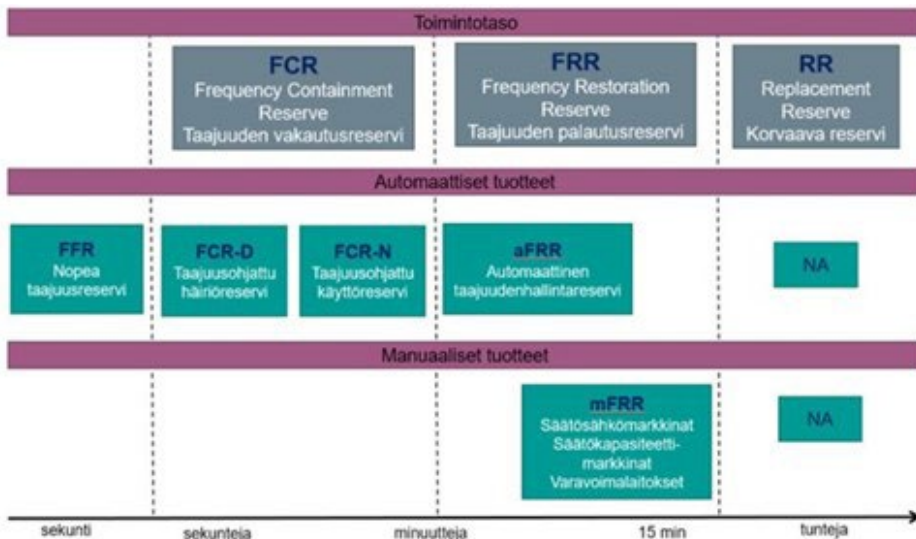
VIRTUAALIVOIMALAITOKSET TARJOAMAAN SÄÄTÖVOIMAA

Suomessa virtuaalivoimalaitos määritellään kulutuskohteeksi, joka ei itse tuota energiaa, mutta säättää kiinteistön omaa kulutusta verkon tarpeiden mukaisesti. Sähköverkko reagoi kulutukseen tuotannon tavoin, mutta verkon taajuuden muutos on vain käänteinen: kulutuksen vähentäminen aiheuttaa verkon taajuuteen samanlaisen vaikutuksen kuin tuotannon lisääminen. Jos kiinteistöllä tai kiinteistöryhmällä on kyky tuottaa tai varastoida energiaa, voivat ne toimia tavallisina voimalaitoksina. (Energiaviisaat kaupungit 2020) Virtuaalivoimalaitoksen ydinajatus on energiajärjestelmälle asetettujen perusvaatimusten toteuttaminen kiinteistössä vakioajoasetusten sijaan muuttuvaan ajotapaan perustuen. On kuitenkin huomioitava, että energiajärjestelmälle asetetut arvot ja vaatimukset täytyvät. Esimerkiksi sisäilman hiilidioksidipitoisuuden on aina pysyttävä raja-arvon alapuolella, vaikka hetkellistä säätöä tehdään. Virtuaalivoimaloiden taloudellinen kannattavuus tulee suoraan tai välillisesti Fingridin ylläpitämiltä reservimarkkinoilta.

RESERVIMARKKINAT OVAT KULUTUSJOUSTON MARKKINAPAIKKA

Suomen kantaverkkoa hallinnoiva yhtiö on Fingrid, jonka yhtenä päätehtävänä on turvata kantaverkon häiriötön toiminta. Fingrid tarjoaa sähkön kuluttajille ja tuottajille erilaisia reservimarkkinatuotteita, joiden avulla kantaverkon taajuus pystytään pitämään halutulla alueella. Suomessa kantaverkon perustaajuus on 50 Hz, ja taajuuden poiketessa tästä arvosta reservien ohjausjärjestelmä käskää reservin jäseniä säätämään tuotantoa tai kulutusta niin, että päästään takaisin perustaajuuden arvoihin. Kantaverkon taajuutta voidaan nostaa tuotantoa lisäämällä tai kulutusta vähentämällä ja taajuutta lasketaan vastakkaisilla toimenpiteillä.

Reservityypit jaetaan aktivoitumisaikojen ja toimintotasojen perusteella eri luokkiin. Virtuaalivoimaloiden ja energiayhteisöjen näkökulmasta oleellisin reservituote on FCR-N. Normaalityilan taajuusohjattu käyttöreservi (FCR-N) tekee lähes jatkuvasti lyhytaikaisia ja nopeita säätöjä ylös- tai alaspäin, jotta verkon taajuus pysyy normaalialueella. Normaalitylanteesta voidaan puhua, kun taajuus on 49,9–50,1 Hz, mutta sitä suuremmat poikkeamat luokitellaan häiriötilanteeksi, jolloin käyttöön otetaan lisää reservityyppejä. Häiriötilanteiden reservien on yleisesti kyettävä normaalitylanteen reserveihin verrattuna pidempiaikaiseen säätöön, mutta käyttötilanteita vuodessa on huomattavasti harvemmin. Reservituotteiden jakautuminen toimintotason ja aktivoitumisaikojen perusteilla on esitetty kuvassa 2.



KUVA 2. Fingridin reservimarkkinoiden eri tuotteet toimintotason ja aktivoitumisaajan perusteilla taulukoituna (Fingrid reservimarkkinat 2022).

ENERGIAVARASTOJEN KÄYTTÖ OSANA VIRTUAALIVOIMALOITA

Virtuaalivoimaloiden kokoa ja reservimarkkinoille tarjottavaa tehopotentiaalia voidaan kasvattaa lisäämällä virtuaalivoimalaitoksen yhteyteen nopean purkuajan sähköenergiavarastoja, kuten akustoja. Varastojen toiminta tehostuu, jos virtuaalivoimalan kiinteistöllä on myös omaa uusiutuvaa sähköntuotantoa. Akustojen käyttö kuluttaa niiden sykli-ikää, ja tästä kulumisesta aiheutuu käyttökustannus kilowattituntia kohden, joka on nykyisillä litiumioniakuilla noin 20 c/kWh (Zubi ym. 2018). Jos akustoa on tarkoitus käyttää taloudellisen hyödyn näkökulmasta, on sähkön osto- ja myyntihinnan erotus oltava yli tämän käyttökustannuksen. Varastojen merkitys kasvaa myös ajanhetkillä, jolloin sähkön hinta vaihtelee voimakkaasti ja samaa käyttökustannusta voidaan pitää taloudellisen toiminnan raja-arvona. Käytännössä akustoa voidaan edullisen sähkönhinnan aikana ladata ja kalliin ostosähkön hinnan aikana varastoitua sähköä voidaan hyödyntää kiinteistön kulutuskohteiden tarpeisiin.

Virtuaalivoimaloiden toimintaan on pääosin pystyttävä vaikuttamaan hyvin lyhyen ajanjakson aikana, joten energiavarastojenkin purkuajkojen on oltava nopeita. Akustojen lisäksi tarjolla on hyvin rajallinen määrä varastointimahdollisuuksia. Vaihtoehtona voidaan teoriassa pitää erilaisia kondensaattoreita, mutta niiden matalan ominaisenergian, korkean itsepurkautumisasteen ja kalliin hinnan takia ne eivät ole akustojen kanssa tällä hetkellä kilpailukykyisiä. (Samantara ym. 2020)

Akustojen käytöstä saadaan taloudellisempaa, jos muodostetaan reservimarkkinasopimus Fingridin kanssa. Nopean purkuajan ansiosta akustot pystyvät vastaamaan vaihtelevaan sähkömarkkinaan joustavasti, ja ne soveltuvat hyvin FCR-N- ja FCR-D-markkinaan. Reservisopimuksen voi tehdä vuosi- tai tuntimarkkinoille. Vuosimarkkinoilla pitää pystyä ennustamaan potentiaalinen tuntitarjonta ja tehomäärä ennen Fingridin sopimuskilpailua, joka järjestetään syksyllä. Tehoperusteinen hinta pysyy vuoden ajan vakiona, mikä on taloudellisen ennustettavuuden kannalta hyvä asia, mutta tuntimarkkinoihin verrattuna maksettu yksikköhinta on myös yleensä matalampi. Tuntimarkkinoilla sopimuksia voidaan tehdä erikseen jokaiselle vuoden tunnille. Vuosisopimuksen hinta FCR-N-reservissä vuonna 2022 oli 12,24 euroa/MWh (Fingrid 2022), joka ei sellaisenaan kata akuston käyttökustannuksia, mutta tuntihintojen huippuaikoina tarjoukset ovat niin korkeita, että akuston reservitoiminta on kannattavaa.

Hankkeen aikana Kotkassa sijaitsevalle Mussalon tuulivoimalalle tehtiin yhteistyössä Kotkan Energian kanssa laskentaa, jossa voimala liitettiin akkuvarastoon ja sen avulla osallistuttiin reservimarkkinoille. Vuosimarkkinahinnalla konseptista ei saatu kannattavaa, mutta tuntimarkkinoilla oli taloudellista potentiaalia. Tuntimarkkinat perustuvat hintojen tunnittaiseen kilpailutukseen. Tästä syystä hinnat heilahtelevat voimakkaasti, mikä puo-

lestaan vaikeuttaa konseptin taloudellista ennustettavuutta. Sähkömarkkinoiden hinnat ovat muutenkin viime aikoina olleet epästabiilit, joten tarkkaa takaisinmaksuaikaa on tässä tilanteessa vaikea arvioida.

CASE-KOHEIDEN TULOKSIA

Hankkeessa tutkittiin toteutettuja virtuaalivoimalaitossovelluksia ja haettiin potentiaalisia sovelluskohteita Kymenlaaksosta. Tutkimuskohteiksi valikoituivat Kauppakeskus Veturi Kouvolasta ja Kotkan Kantasatama.

Veturille laskettiin KULUMA-hankkeen kanssa yhteistyössä virtuaalivoimalaitoskonsepti, jossa ilmanvaihtokoneiden hetkellistä tehoa säädetään kantaverkon taajuuden mukaan. Tarkoituksena on suurentaa tai pienentää ilmanvaihtokoneiden puhaltimien tehoja lyhyiksi ajanjaksoiksi ilman, että siitä aiheutuu haittaa kiinteistön normaalille käytölle. Konseptin taloudellinen kannattavuus muodostuu Fingridin normaalitilanteen taajuusohjattuun käyttöreserviin (FCR-N) osallistumisesta ja mahdollisista kiinteistön sisäisten tarpeiden mukaan tehdystä joustoista.

Konseptin laskennassa hyödynnettiin Veturille tehtyä energiakatselmusta ja sieltä saatuja sähkönkulutusarvoja. Laskennassa muodostettiin ilmanvaihtokoneista kokonaisuus, jossa yhdistettiin kaikki kiinteistön ilmanvaihtokoneet yhteiseksi kuormaksi ja tarkasteltiin sen minimi- ja maksimiarvoja. Näiden arvojen perusteella saatiin hetkellinen joustovara sekä ylös- että alaspäin. Tarkastelujaksona oli huhtikuu 2022, josta laskettiin potentiaalinen kuukausittainen 100 kW reservitehon tarjontapotentiaali tunteina. Huhtikuun dataa voidaan laajentaa kattamaan koko vuosi, koska sähkönkulutuksessa ei ole merkittävää eroa kuukausien välillä. Tästä saadaan vuosittainen kokonaistuntimäärä, joka voidaan tarjota reservimarkkinoille. Tuntimäärä kerrotaan vuosisopimuksen hinnalla ja tehomäärällä, josta saadaan konseptin vuosittainen tuotto. Tuloksena todetaan Veturin virtuaalivoimalakonseptin olevan taloudellisesti kannattava. Kuitenkaan kiinteistöautomaatiikan päivittämisestä aiheutuvia kustannuksia on vaikeaa arvioida eikä reservimarkkinoiden tulevaisuuden hintoja pystytä ennustamaan. Tarkan takaisinmaksuajan laskentaan vaaditaan konkreettinen tarjous automaatiikan päivityksestä aiheutuvista kustannuksista ja tieto tulevaisuuden reservituotteiden hinnasta.



KUVA 3. Kauppakeskus Veturin katolla olevat aurinkopaneelit (Kauppakeskus Veturi).

Kotkan Kantasatama toimi hankkeessa energiayhteisön esimerkkikohteena. Kantasatamalle tehtiin laajasti selvityksiä energiayhteisön muodostamista varten, joista ensimmäisenä oli tuulivoimalan lupahakemusprosessi. Puolustusvoimat eivät voineet antaa tuulivoimalaselvitykselle suoraa vastausta maantieteellisten rajoitteiden vuoksi, vaan asiasta tulee suorittaa VTT:n tekemä jatkoselvitys. Tähän VAU-hankkeeseen ei ollut budjetoitu rahaa. Toinen laaja selvitystyö oli alueen verkkoratkaisu, jonka oleellisena osana oli kiinteistöjen omistajuussuhteiden selvittäminen kiinteistöryhmän käsitteen näkökulmasta. Lempäälän Lämpö Oy:n Energiavirastolle tekemän selvityspyynnön mukaan kiinteistöjen yhdistäminen kiinteistöryhmäksi vaatii saman omistajan liitettävillä kiinteistöille. Eri omistajien takia kiinteistöryhmän muodostaminen ja yhden kiinteistörajan sisällä toimiminen ei ole Kantasatamassa mahdollista.

Ainoana verkkoratkaisuna Kantasatamassa on erillisten linjojen käyttö kiinteistörajojen ylityksessä tuotannolta kulutukselle. Huomioitavaa on myös, että yhteinen aurinkovoimalaitos on tässä mallissa jaettava osiin ja osat on mahdollista liittää vain omille kiinteistöille. VAU-hankkeen aikana tehdyssä diplomityössä tehtiin laskentaa Kantasataman alueen rakennusten omille aurinkovoimaloille. Tilannetta verrattiin yhteisen kiinteistöverkon energiayhteisöön, jotta energiayhteisön mahdollisia hyötyjä pystyttiin tutkimaan. Aurinkovoimaloiden lisäksi tarkasteltiin alueen energiavarastojen mahdollisuuksia, joiden laskennassa keskityttiin akkuvarastoihin. Laskennan tuloksena huomattiin, että kiinteistörajan sisällä toimiva energiayhteisömalli pystyy toimimaan suuremmalla itse tuotetun sähkön omakäyttöasteella ja investointien taloudellinen takaisinmaksuaika on myös lyhyempi.

Hankkeen tulosten perusteella Kantasataman energiayhteisömalli jää nykyisellä lainsäädännöllä vielä joustamattomaksi eikä todellista yhteisöllisyyttä tässä mallissa tule esille. Teemaa on tarkoitus jatkaa tulevissa hankkeissa ja olla aktiivisesti mukana kehittämässä sähkömarkkinalain uusia muutoksia, jotka edistäisivät samalla Kantasataman alueen energiaratkaisun kehittymistä.

ENERGIAMARKKINOIDEN TILANNE JA KEHITYS

VAU-hankkeessa käsiteltyjen aiheiden ajankohtaisuus on kasvanut erittäin paljon hankkeen aikana. Poliittinen tilanne ja energiemarkkinoiden murros ovat aiheuttaneet poikkeuksellista heiluntaa sähkömarkkinoille. Talvella 2021–2022 sähkömarkkinoilla nähtiin ennätyskorkeita hintahuippuja. Sähkøyhtiöt tekivät suuria tappioita kyseisellä ajanjaksolla, koska kiinteähintaiset sähkösopimukset olivat edelleen yleisimpiä sopimustyyppisiä. Nyt sähkøyhtiöt ovat siirtämässä vastuuta heittelevästä sähkömarkkinasta kuluttajalle markkina- ja pörssiin perustettujen sähkösopimusten muodossa. Osa sähkönmyyjistä on jopa purkanut olemassa olevia kiinteähintaisia sopimuksia. Pörssisähkön vaihtoehtona tällä hetkellä kuluttajille tarjotaan erittäin kalliita kiinteähintaisia sopimuksia, koska sähkömarkkinaa on vaikea arvioida. Suurin hintapiikki oli 8.9.2022, kun sähkön yksikköhinta oli hetkellisesti 5 euroa/kWh.

Kuluttajalle on tässä tilanteessa entistä tärkeämpää pystyä hallitsemaan omaa sähkönkulutustaan älykkäiden järjestelmien avulla ja ajoittamaan mahdollisimman suuri osa kulutuksestaan hetkille, jolloin hinta on alhainen. Sähkölämmitteisen kiinteistön omistavalle kuluttajalle tuleva talvi 2022–2023 voi olla taloudellisesti haastava, jos sähkön hinta nousee hänen edellisestä kiinteästä sopimuksestaan viisi- tai kymmenkertaiseksi. Kuukausitasolla tämä voi tarkoittaa sähkölaskun nousua muutamasta sadasta eurosta tuhanteen tai jopa kahtentuhanteen euroon. Monelle kuluttajalle nämä hinnat ovat taloudellisesti täysin mahdottomia.

Hajautettu uusiutuva pientuotanto nostaa merkitystään muuttuvassa ja korkeahintaisessa sähkömarkkinassa. Esimerkiksi aurinkovoiman osalta pientalon voimalainvestoinnille arvioitiin muutama vuosi sitten noin 15 vuoden takaisinmaksuaikaa. Ennätyskorkealla sähkön pörssihinnalla takaisinmaksuaika on enää muutamia vuosia. Ylen kirjoittamassa uutisartikkelissa LUT:n energiatehokkuuden professori Jero Ahola kertoo tilanteesta ja painottaa, kuinka kannattavasta investoinnista on näillä sähkönhinnoilla kyse. Hän myös kertoo monen kuluttajan tehneen suurta rahallista tuottoa myymällä omatuottamaansa sähköä markkinoille pörssihinnalla, kun heillä vielä oli voimassa edellisvuosien halpa kiinteä sähkösopimus. Myydyin sähkön hinta oli kuluttajalle kesän aikana keskimäärin kaksin- tai kolminkertainen kiinteähintaiseen ostosähköön verrattuna. Mainittavaa on, että kuluttajien täytyy olla tarkkana verotusasioiden kanssa, jos edellä mainittua sähköä myyntiä harjoittaa suurissa määrin.

LÄHTEET

Energiaviisaat kaupungit. 2020. Näin teet kiinteistöstäsi virtuaalivoimalaitoksen. Viestintä-yhtiö Tarinatakomo. [Verkkajulkaisu]. [Viitattu 1.4.2022]. Saatavissa: <https://energiaviisaat.fi/wp-content/uploads/2020/11/Energiaviisaat-Virtuaalivoimalaitos-opas2020.pdf>.

Fingrid. 2022. Reservimarkkinat. [Verkkosivu]. [Viitattu 5.3.2022]. Saatavissa: <https://www.fingrid.fi/sahkomarkkinat/reservit-ja-saatosahko/>

Samantara, A. K. & Ratha, S. 2020. Metal-ion hybrid capacitors for energy storage: a balancing strategy toward energy-power density. 1st ed. Cham, Switzerland: Springer. SpringerBriefs in Energy. 102 s. ISBN: 3-030-60812-3.

Yle. 2022. Professori laittoi talonsa katolle aurinkopaneelit ja tienasi kesällä kympejä päivässä. [Uutisartikkeli]. [Viitattu 16.9.2022]. Saatavissa: <https://yle.fi/uutiset/3-12595564>

Zubi, G., Dufo-Lopez, R., Carvalho, M. & Pasaoglu, G. 2018. The lithium-ion battery: State of the art and future perspectives. Elsevier Ltd. Renewable & sustainable energy reviews. [Verkkajulkaisu]. Vol. 89. S.292-308. ISSN: 1364

RAKENTAMISEN KIERTO- TALouden EKOSYSTEEMI KAAKKOIS-SUOMESSA

Sirpa Rahiala & Anu Vainio

Maankäyttö- ja rakennuslain uudistuksessa esitetään uusia vaatimuksia rakentamisen kiertotaloudelle. Esimerkiksi purkukartoitukset ja rakennusten elinkaarilaskennat voivat olla tulevia edellytyksiä, jotka eivät vielä ole pakollisia. Nämä vaatimukset heijastuvat muun muassa purkuosaamisen kehittymiseen ja kierrätysmateriaalien lisääntyneeseen käyttöön. Näitä haasteita tutkitaan Xamkin CIRCON-hankkeessa (Competences and materials for low-carbon and circular economy-based construction), joka vastaa rakennetun ympäristön hiilidioksidipäästöjen vähentämisen kansallisiin ja globaaleihin haasteisiin ja edistää kiertotaloutta tuottamalla tietoa ja osaamista, uusia tuotteita ja konsepteja. Hankkeessa järjestettiin syksyllä 2022 rakentamisen kiertotalouden tulevaisuustyöpaja. Työpajassa visioitiin rakentamisen kiertotalouden tulevaisuuksia, ja tämän artikkelin tavoitteena on kertoa työpajan tavoitteista ja tuloksista sekä tiivistää työpajan kohokohdat.

Hankkeen toteuttaa Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulun (Xamk) Metsä, ympäristö ja energia -vahvuusala. Hankkeen päärahoittajana toimii opetus- ja kulttuuriministeriö (OKM).

JOHDANTO

Rakennetulla ympäristöllä on laaja sosiaalinen ja taloudellinen merkitys sen tuottaessa merkittävän osan Suomen bruttokansantuotteesta sekä työllistävän vaikutuksen kautta. Samaan aikaan rakennettu ympäristö on kuitenkin yksi merkittävimmistä hiilidioksidipäästöjen tuottajista ja rakennusala merkittävä neitseellisten raaka-aineiden kuluttaja ja jätteiden tuottaja. Suomen hiilineutraaliustavoite 2035 samoin kuin ilmastonmuutokseen sopeutuminen asettavat haasteita rakennetulle ympäristölle erityisesti johtuen sen pitkästä käyttöiästään ja monista siihen kohdistuvista vaatimuksista (kuten kestävä kehitys, energia- tehokkuus, turvallisuus, terveys).

Myös tulevat lainsäädäntömuutokset, kuten maankäyttö- ja rakennuslakiuudistus, kiinnittävät yhä enemmän huomiota rakennuksen elinkaarivaikutuksiin, mikä puolestaan heijastuu suoraan kiinnostuksena materiaalien ympäristövaikutuksiin. Esimerkiksi rakentamislain velvoite rakennusten hiilijalanjälkilaskennasta tukee kiertotaloustuotteita ja purkumateriaa-

li- ja rakennusjätteselvitys edistää purkumateriaalien rakennusjätteen laadukasta hyödyntämistä. Myös jätelain ja -asetuksen uusiminen voi johtaa tiukempiin hyödyntämisvaatimuksiin rakennus- ja purkujätteen osalta ja lisätä erilliskerättäviä jätelajeita. (Hakaste 2022)

Kiertotalouden rakennuksen elinkaaren vaiheissa voi jakaa kolmeen eri osioon (Hakaste 2022):

1. Purkumateriaalikiertojen lisääminen
2. Rakennuksen ja sen osien pitkäikäisyyden edistäminen
3. Rakennusten käyttöasteen lisääminen

Ensimmäinen aihe käsittelee esimerkiksi rakennus- ja purkujätteen lajittelun, uudelleenkäytön ja kierrätyksen. Toinen aihe sisältää muun muassa kierrätysmateriaalien hyödyntämisen ja jätteen synnyn ehkäisyn ja kierrätyksen tuotannossa. Eräs iso kysymys rakentamisen kiertotaloudessa on ollut kierrätettävien materiaalien kelpoisuuden arviointi ja hyväksyntä uudelleenkäytössä ja se, kuinka sitä voidaan edistää. Lainsäädännöllisinä reunaehtoina toimivat EU:n rakennustuoteasetus sekä kansallinen lainsäädäntö.

Hankkeen työpaketit koostuvat useasta eri teemasta, ja hankkeessa keskitytään etenkin edellä mainittuihin aiheisiin 1 ja 2. Yhtenä teemana on rakennus- ja purkujätteiden hyödyntämisen edistäminen, toisena vähähiilisen betonin kehittäminen ja kolmantena biopohjaiset liimat ja eristeet. Lisäksi hanke mahdollistaa Kymenlaakson tutkimusyksiköiden tutkimusinfrastruktuurin kehittämisen materiaalien rakennekuvauksiin tarkoitetun kenttäemissio-pyyhkäisyelektronimikroskoopin hankinnan avulla. Koko hankkeen viestintää, tiedon levitystä ja osallistamista suoritetaan Luovien alojen yksikön toimesta erilaisten muotoilun keinojen avulla. Xamkin rakennusalan koulutus on tiiviisti mukana hankkeen ohjauksessa ja oppilaiden osallistamisessa.

Hanke yhdistää Xamkin kaikki Metsä, ympäristö ja energia -vahvuusalan yksiköt Kymenlaaksossa ja Etelä-Savossa. Savonlinnassa on pitkät perinteet metsäbiomassan ja puukuidun käsittelyn ja jatkojalostuksen tutkimuksesta ja kehityksestä, jossa Xamkin Kuitulaboratorio on keskeinen toimija, ja parhaillaan alueelle toteutetaan puu- ja hybridirakentamisen testilaboratoriota. Mikkelissä on parhaillaan käynnissä esimerkiksi Horizon-ohjelmasta rahoitettava Cityloop-hanke, jossa laajat demonstraatiot kohdistuvat purkukohteisiin ja Xamk toimii osatoteuttajana. Hankkeen aikana alan yhteistyökumppaneita on pystytty kartuttamaan kansainvälisestikin. Kotkassa ja Kouvolassa on pitkät perinteet rakennustekniikan opetuksesta ja betoni- ja puumateriaalien käsittelystä ja testauksesta Xamkin BioSammossa ja KymiLabsissa, ja yritysyritys yhteistyö on keskeistä yksiköissä. Kymenlaakson alueella on myös pitkät perinteet puunjalostusteollisuudessa, ja alueella vietetään metsäteollisuuden 150-vuotisjuhluvuotta vuonna 2022.

Kaakkois-Suomessa on jo laaja verkosto rakentamisen kiertotalouden alalla, mutta tarve kartoittaa lisää koko arvoketjun toimijoita on noussut esiin. Kehittyvässä rakentamisen kiertotalouden ekosysteemissä koko arvoketjun vanhoille toimijoille avautuu myös uusia mahdollisuuksia. Tästä hyvänä esimerkkinä on Kotkassa toimivan Sunilan sellutehtaan laajennus kovahiilimateriaalin tuottajaksi. Uusien mahdollisuuksien ja tulevaisuuksien hahmottamiseksi hankkeessa järjestettiin Luovien alojen fasilitoimana Tulevaisuustyöpaja Sitran Tulevaisuustaajuus-menetelmää hyödyntäen syksyllä 2022. Työpaja yhdisti kaikki hankkeen toimijat visioimaan mahdollisia tulevaisuuksia rakentamisen kiertotaloudessa.

TULEVAISUUSTYÖPAJA SITRAN MENETELMIN

Tulevaisuustaajuus on työpajamenetelmä toisenlaisten tulevaisuuksien rakentamiseen. Menetelmä on kehitetty Sitrassa monialaisen asiantuntijajoukon yhteistyönä, jotta tulevaisuusajattelu leviäisi laajemmin yhteiskuntaan ja yhä suurempi joukko ihmisiä olisi kyvykkäämpiä ennakoimaan tulevaisuutta. Sitra on kouluttanut osajia eri organisaatioista menetelmän osajiksi. Nämä osajat ovat kouluttaneet lisää menetelmäosaajia omissa työyhteisöissään, ja näin tulevaisuusajattelu ja ennakointikyvykyys ovat levinneet myös osaksi Xamkin kehittämistoimintaa.

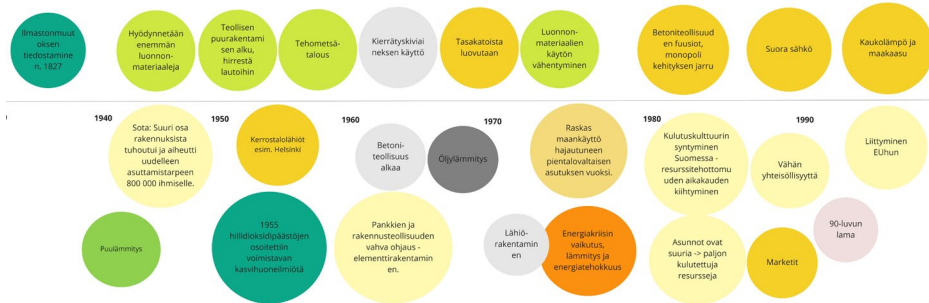
Syksyllä 2022 CIRCON-hankkeessa järjestettiin Tulevaisuustyöpaja teemasta rakentamisen kiertotalous. Työpajaan osallistui hankkeen toteuttajia kaikista yksiköistä. Työpajan alustajana toimi kiertotalousasiantuntija Ella Lahtinen Green Building Council -yhdistyksestä, ja hänen puheenvuoronsa tarkoituksena oli haastaa osallistujat ajattelemaan tulevaisuudesta toisin.

Tulevaisuustaajuus-menetelmässä on kolme osaa: haasta, kuvittele ja toimi. Kolme eri osaa toimivat toistensa jatkumoina ja ovat tärkeitä sekä tulevaisuustiedon lisäämisessä että ihmisten osallistamisessa ja innostamisessa yhteiseen työskentelyyn. Tärkein tavoite tulevaisuustyöpajassa on saada osallistujat toimimaan ja omaksumaan ajatus, että tulevaisuus ei tapahdu – se tehdään. Meillä on myös vastuu rakentaa parempaa huomista tuleville sukupolville.

HAASTETAAN AJATTELUAMME

Ensimmäisessä vaiheessa osallistujat täydensivät aikajanelle rakentamisen muutosta reilun sadan vuoden ajalta. Aikajana-tehtävän tarkoituksena on saada aivot aktivoitumaan ja viritäytymään tulevaisuusajatteluun. Kuvassa 1 on esitetty esimerkki aikajanelle kerätyistä tekijöistä, jotka ovat muokanneet tulevaisuutta rakentamisalalla. Vaikuttaviin tekijöihin on nostettu esimerkiksi eri lämmitysjärjestelmien muutokset rakennuksissa sekä käytettyjen rakentamismateriaalien kehitys. Rakennusten suurimmat elinkaari-vaikutukset ovatkin juuri käytön aikaisesta energiankulutuksesta johtuvia, ja Suomessa kulutettavasta energiasta rakennuksissa kuluu noin 40 prosenttia (Rakennusteollisuus 2022). Myös ympäröivän yhteiskunnan muutokset ovat voineet olla vaikuttavia tekijöitä, kuten kaupungistuminen ja kaavoituksen kehitys.

Katse menneisyyteen: millaiset seikat ovat vaikuttaneet siihen millainen nykyhetki on?



KUVA 1. Aikajanelle sijoitettuja nykyhetken vaikuttavia tekijöitä (kuva Anu Vainio).

TULEVAISUUSVISIOT KUVITTELEMALLA

Kuvittele-vaiheessa ryhmät loivat yhteisen vision toivotusta tulevaisuudesta. Visio saattoi sisältää asioita, joita halutaan muuttaa tai vahvistaa: miten tulevaisuus olisi parempi tai mitä hyvää nykyhetkessä on. Työskentelyn tuloksena ryhmät visioivat seuraavanlaisia tulevaisuuksia:

- ”Vuonna 2050 rakennusmateriaalien uudelleenkäyttö on edullisempaa kuin neitseellisistä raaka-aineista valmistettujen materiaalien käyttäminen.”
- ”Rakennukset ovat täysin kiertotalouteen perustuvia (materiaalit, jätteet) ja oma-vaaraisia, energiaa varastoivia kelluvia moduuleja.”
- “Go local, do together, support rural development, kick ass to 100% circularity.”

TULEVAISUUS TEHDÄÄN

Tässä työpajan vaiheessa keskitytään tekoihin ja niiden vaikuttavuuteen. Kuvassa 1 on esitetty yhden ryhmän ideoitut teot, jotka veisivät kohti vision toteutumista. Teot on jaoteltu kolmeen ryhmään, ja ne vaikuttavat joko ajattelumalleihin, rakenteisiin tai käyttäytymiseen. Yhteistä kaikkien ryhmien teoissa oli lainsäädöllisten muutosten tarpeellisuus. Jokaisessa ryhmässä nousivat esiin myös joko tiedon tuottaminen, tietoisuuden kasvattaminen tai koulutus tärkeinä vaikutuskeinoina. Kuvat tähän toimet rinkulasta

Tehtävä: Mitä nyt pitäisi tapahtua, jotta visionne voisi toteutua? Ideoikaa 3 tekoa, jotka veisivät kohti visionne toteutumista.



1) Kulutuksen vähentäminen, resurssitehokkuus, kiertotalous.
 Lyhyt aikaväli: maaseudun kehittäminen ja innovaatiot
 Keskipitkä aikaväli: Lainsäädännön kehittäminen kiertotaloutta tukevaksi
 Pitkä aikaväli: 100 % kiertotalous

2) Resurssien loppuessa (vesi, maa, ilma, biodiversiteetti) raha menettää arvonsa, koska se ei enää ole vaihdon väline.

3) Koulutus.
 Tekojen lisäksi tapahtumat kuten pandemia tai sodat eli yhteiskunnalliset tai globaalit shokit pakottavat tekemään arvonmuutoksia.

KUVA 2. Teot, jotka edesauttaisivat vision toteutumista (kuva Anu Vainio).

TULEVAISUUDEN SANOMAT

Tehtävän toisessa vaiheessa pienryhmien tuli konkretisoida visionsa Tulevaisuuden Sanomien lehtiotsikoksi: ”Millainen uutinen olisi merkki siitä, että visio on toteutumassa?” Uutiset saattoivat olla hyvin positiivisia, kuten kuvan 3 esimerkkiiutisessa, jossa kierrätettyjen materiaalien osuus on ylittänyt uusien rakennusmateriaalien käytön talonrakentamisessa. Uutisissa saattoivat myös näkyä huoli tulevaisuudesta tai jo ilmastonmuutoksesta johtuvat konkretisoituneet muutokset, kuten tulvat tai metsäpalot. Muutokset voivat johtaa myös uusiin liiketoimintamahdollisuuksiin, ja nämäkin näkyivät uutisena uuden venetalotehtaan avaamisesta.

Tehtävä: Miltä matka kohti valitsemaanne visiota näyttäisi ja kuulostaisi? Työskentelette Tulevaisuuden Sanomien ajankohtaistoimituksessa ja tehtävänänne on luoda etusivu vuodelta 2048. Kirjoittakaa sellainen pääuutinen, joka kuvaisi maailmaa matkalla kohti luomaanne visiota. Jos haluatte, voitte kirjata myös pienempiä uutisia.

Fiksun tulevaisuuspuheen äänenkannattaja jo vuodesta 2020

Tulevaisuuden Sanomat

2048 viikko 40. Irtonumero 56 BC.

108 sivua

VANHAN KÄYTTÖ KANNATTA

Uudelleen käytettyjen rakennusmateriaalien määrä ylitti ensimmäistä kertaa uusien rakennusmateriaalien määrän talonrakentamisessa. Panostukset käytettyjen materiaalien hyödyntämiseen tuottavat nyt tulosta. Alati kasvava materiaalipankkien määrä takaa uudelleen käytettävien materiaalien saatavuuden ja edullisen hinnan. Vuonna 2040 voimaan tullut lakimuutos kierrätysmateriaalien käytöstä tuottaa nyt hedelmää. Kehitykseen on vaikuttanut myös ihmisten omaksuma ajatusmalli kierrätysmateriaalien hyödyntämisestä. Taustalla vaikuttavat sekä kustannustehokkuus ja huoli tulevaisuudesta.

KUVA 3. Esimerkki Tulevaisuuden Sanomiin kirjoitetusta uutisesta (kuva Anu Vainio).

YHTEENVETO

Xamkin CIRCON-hankkeessa vastataan rakentamisen kiertotalouden kansallisiin ja kansainvälisiin haasteisiin kehittämällä osaamista sekä uusia tuotteita ja konsepteja. Eräs keskeisistä menetelmistä kehitystyössä ovat erilaiset muotoilun keinoin tehtävät toimenpiteet toimijoiden osallistamiseksi ja tiedon levittämiseksi. Hankkeessa toimii monialainen osajajoukko Xamkin eri tutkimusyksiköistä sekä koulutuksesta. Yhteistyö ja osallistaminen mahdollistavat laaja-alaisemman ja vaikuttavamman hanketoiminnan, mikä edistää rakentamisen ekosysteemiä Kaakkois-Suomessa ja valtakunnallisesti.

Tulevaisuustyöpaja yhdisti kaikki hankkeen toimijat visioimaan mahdollisia tulevaisuuksia rakentamisen kiertotaloudessa. Työpajan tuloksena syntyi useita erilaisia näkemyksiä tulevaisuudesta ja teoista, jotka ohjaavat mahdollisen tulevaisuuden syntyä. Yhteistä näille kaikille tulevaisuusvisioille olivat radikaalit muutokset nykypäivään verrattuna sekä koulutuksen ja tiedon kasvattamisen merkitys tulevaisuuden rakentamisessa.

LÄHTEET

Hakasta, H. 2022. Rakentamisen kiertotalouden ajankohtaiskatsaus. Kiertotaloutta rakentamassa -seminaari Vantaalla 23.5.2022.

Poussa, L., Lähdemäki-Pekkinen, J., Ikäheimo, H.-P. & Dufva, M. 2021. Tulevaisuustaajuus, Käsikirja työpajan vetäjälle - Työpajamenetelmä toisenlaisten tulevaisuuksien rakentamiseen. Sitran selvityksiä 173, 4. painos. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://www.sitra.fi/julkaisut/tulevaisuustaajuus-kasikirja-tyopajan-vetajalle/> [viitattu 21.9.2022].

Rakennusteollisuus. 2022. Rakennettu ympäristö ja ilmastonmuutos. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.rakennusteollisuus.fi/Tietoa-alasta/Ilmasto-ymparisto-ja-energia/Materiaalitehokkuus/> [viitattu 22.9.2022].

HIENONNETTujen KIERRÄTYSMATERIAALIEN JATKOHYÖDYNTÄMISKARTOITUS

Tuija Korpela & Eveliina Kuokkanen & Anne Gango & Teemu Karttaavi
& Juha Solio & Esa Huuhtanen & Maunu Kuosa

BIOKE – Haastavien materiaalien tutkimus ja kierrätyksen edistäminen hienontamalla BioSammossa -hanke toteutui 1.1.2020–31.8.2022. Kehityshankkeen rinnalla alkoi samaan aikaan BIOKE, investoinnit -hanke, joka jatkui 31.12.2021 asti. Molempien hankkeiden päärahoittajana toimi Euroopan aluekehitysrahasto, ja lisäksi hankkeita rahoittivat Kaakkois-Suomen Ammattikorkeakoulu Oy ja Umacon Oy (kehityshankkeen osarahoitus). Hankkeita hallinnoi Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu.

JOHDANTO

Materiaalit, jotka päätyvät loppusijoitukseen, ovat poissa materiaalikierrosta. Loppusijoitus on kiertotaloudessa kuitenkin aina viimeinen ja epätoivottava vaihtoehto. BIOKE-hankkeessa tähän pyrittiin puuttumaan hienontamisella, joka lisää materiaalien tasalaatuisuutta ja reaktiivista pinta-alaa. Tämä taas lisää materiaalien hyötykäyttöpotentiaalia, koska jätteissä ja muissa teollisuuden sivuvirroissa epätasalaatuisuus on hyödyntämistä vaikeuttava tekijä. Xamkin bio- ja kiertotalouden tutkimuskeskus BioSammossa Anjalassa tehtiin eri materiaalien hienontamis- ja mikronisointikokeita niiden jatkohyödyntämistä varten. Hienontamiseen soveltuvien materiaalien hyödyntämismahdollisuuksia tutkittiin myös aihepiiriin liittyviä aikaisempia selvityksiä kartoittamalla sekä niiden tuloksia analysoimalla.

Mineraaliraaka-aineiden hienonnuksen vaiheita ovat murskaus, jauhatus ja mikronisointi. Murskaus on kappaleen karkeaa hienontamista, ja jauhatuksessa kappaletta hienonnetaan edelleen. Mikronisointiprosessin tavoitteena on pienentää materiaalipartikkelien kokoa siten, että se saavuttaa mikrometrikokoluokan. Näitä hienonnettuja materiaaleja voidaan seuloa ja luokitella haluttuihin kokoluokkiin. Taulukossa 1 esitetään johdantona valittujen hienonnettujen materiaalien, betoni, lasi, posliini ja tiili, mahdollisia jatkohyödyntämismahdollisuuksia tai -kohteita, joita käsitellään seuraavaksi tarkemmin tässä artikkelissa.

TAULUKKO 1. Hienonnetun betonin, lasin, posliinin ja tiilen mahdollisia käyttökohteita.

| Materiaali/Kohde | Betoni | Lasi | Posliini | Tiili |
|------------------|--------|------|----------|-------------|
| Geopolymeeri | | X | X | X |
| Asfaltti | X | (X) | | X |
| Betoni | X | X | X | X |
| Laasti | X | X | | (X rappaus) |
| Tiili | | X | X | X |
| Komposiitti | | X | | X |
| Hiilensidonta | X | | | |
| Vahtolasi | | X | | |
| Faasimuutosmat. | | X | | |

BETONI MATERIAALINA

Betonia valmistetaan vuosittain noin 13 miljardia kuutiota, ja se on maailman käytetyin rakennusmateriaali. Betonia käytetään monissa erityyppisissä käyttökohteissa rakennusten rungoista ja silloista aina taideteoksiin asti. Betoni koostuu sementistä, kiviaineesta, vedestä ja mahdollisesti lisäaineista. Betonin kiviaineena käytetään yleensä paikallista kiviainesta, mutta se voi olla myös kierrätyskiviainesta. Sementti valmistetaan pääosin yhdestä maapallon yleisimmistä kiviaineksista eli kalkkikivestä. Näiden perusraaka-aineiden lisäksi betonissa voidaan käyttää muun teollisuudenalan jätteitä ja sivutuotteita, kuten lentotuhkaa ja masuunikuonaa. Betonissa käytetään erilaisia lisäaineita sen ominaisuuksien parantamiseksi. Näitä on muun muassa betonin notkeuteen, ilmapitoisuuteen ja kovettumiseen vaikuttavat aineet. (Betoni rakennusmateriaalina s.a.)

HIONNETUN BETONIN HYÖDYNTÄMISMAHDOLLISUUKSIA

Materiaalien hienontamisessa saadaan aikaan hienonnettavan kappaleen muodonmuutos sekä partikkelien lukumäärän lisääntyminen ja koon pieneneminen. Samalla kasvaa reaktiivinen pinta-ala. Kuvassa 1 on jätebetonia, joka on hienonnettu BioSamossa leukamurskaimella jatkohyödyntämistä varten.



KUVA 1. BioSammossa leukamurskaimella jauhettua jätebetonia (kuva Teemu Karttaavi).

Rakentamisessa haetaan jatkuvasti uusia tapoja entistä ekologisempaan rakentamiseen. Kivipohjaisten rakennusmateriaalien kierrätys toimii jo hyvin, sillä purkukohteiden betonista kierrätetään jo yli 80 prosenttia (Simola 2015). Rudus kierrättää omat ylijäämäbetonit sekä puolet kaikesta Suomessa syntyvästä betonijätteestä. Betonijätteestä jalostettu Beteroc-murske voi sitoa suuren ominaispinta-alansa takia nopeasti itseensä noin kolmanneksen sementin valmistuksen yhteydessä vapautuneesta hiilidioksidista. Edellytyksenä on, että betonirakennukset puretaan asianmukaisesti, betonijäte murskataan riittävän pieneen raekokoon (esim. 0–45 mm) sekä tulevan käyttökohteen muut tekniset vaatimukset huomioidaan. (Betoni hiilinieluna s.a.)

Liu ym. (2021) ovat tarkastelleet betonin kierrätyksessä syntyvien eri hienousasteiden betonijauheiden käyttöä absorbenttina poistamassa savukaasujen rikkidioksidia SO_2 . Betonijauhe oli tehokas poistamaan rikkidioksidia, ja poistotehokkuudeksi saatiin yli 98 prosenttia. Poistotehoon vaikutti, kuinka helposti betonijauheesta saatiin hyödynnettyä Ca^{2+} -ioneja. Koska reaktiot tapahtuvat partikkelin pinnassa, pinta-alan kasvattaminen hienontamalla lisäsi rikkidioksidin poistokykyä. Rikkidioksidi poistui savukaasuista kiinteänä kipsinä CaSO_4 .

Hienonnetun betonin hyödyntämistä tarkastelee muun muassa Choudhary ym. (2021) tutkimus, jossa tutkittiin neljän rakennusjätteen, betonipölyn (CD), tiilipölyn (BD), lasijauheen (GP) ja kalkkikivipölyn (LD) mahdollisuuksia asfalttibetoniseosten täyteaineina. Hienoja täyteaineita (CD, GP ja LD) sisältävä asfalttiseos osoitti erinomaista urautumis- ja halkeilukestävyyttä. Verrattaessa kalsiumpohjaisten mineraalien käyttöön betonifillieriä käytettäessä asfaltin kosteudenkesto oli parempi. Neno ym. (2014) tutkivat hienonnetun

betonin käyttöä muurauslaastissa. Työstettävyyden vuoksi laastiin, johon oli lisätty betoni-jauhetta, täytyi lisätä enemmän vettä. Betonijauheen lisäys vaikutti myös laastin tiheyteen. Betonijauhetta käytettäessä vedensidontakyky lisääntyi, ja se paransi laastin ominaisuuksia. Veden ansiosta sideaine hydratoitui parantaen mekaanista ja sidosvoimaa. Tutkimuksen mukaan hienonnetulla betonilla on suuri potentiaali käytettävissä laasteissa.

TIILI MATERIAALINA

Tiili on yksi vanhimmista käytetyistä rakennusmateriaaleista. Pääraaka-aineina ovat savi, vesi, hiekka, sahanpuru ja kalkki. Näistä raaka-aineista sekoitetaan tiilimassa, joka puristetaan ja leikataan haluttuun muotoon ja poltetaan sen jälkeen valmiiksi tiileksi. Tiilen valmistuksessa voidaan käyttää raaka-aineena myös teollisuuden sivutuotteita (esim. masuunikuona, keramiikkateollisuuden hylkytuotteet), joita hyödyntämällä uusien materiaalien käyttämistä voidaan vähentää. Tiiltä voidaan myös murskata ja käyttää uudelleen korvaamassa osaa tiilen raaka-aineesta.

HIENONNETUN TIILEN HYÖDYNTÄMISMAHDOLLISUUKSIA

Li ym. (2016) ovat tutkineet hienonnetun punatiilen käyttöä tuomassa väriä laastiin koristeellisissa rappauksissa. Tiilijauheen lisäys paransi myös laastin lujuusominaisuuksia, kun tiilijauhetta lisättiin maltillisesti. Aliabdo ym. (2012) tutkivat murskatun savitiilen käyttöä betoniteollisuudessa. Etuina havaittiin muun muassa se, että mitä enemmän hienonnettua savitiiltä, sitä pienempi huokoskoko ja parempi huokosrakenne. Lisäksi, kun käytettiin 25 prosenttia savitiiltä korvaamassa sementtiä, nähtiin vertailubetonia vähäisempi painohäviö lämpökäsittelyn aikana. Tätä ominaisuutta voi hyödyntää palonkestossa. Huonona puolena oli se, että mitä enemmän hienonnettua savitiiltä käytettiin korvaamassa sementtiä, sitä enemmän betonin lujuus kärsi.

Chen ym. (2011) tutkimuksessa havaittiin, että kierrätetty tiili kasvattaa asfaltin sideaineen jäykkyyskerrointa, jolloin tiilijauhe voi vähentää tien urautumista. Tiilijauheen havaittiin myös parantavan asfaltin korkean lämpötilan stabiiliteettia ja väsymislujuutta. Myös jo mainitun Choudharyn ym. (2021) tutkimuksessa havaittiin, että tiilijauhetta voidaan käyttää asfaltin seassa. Liu ym. (2020) taas tutkivat hienonnetun sementtitiilen ja savitiilen käyttöä sementtikomposiiteissa. Molemmilla tutkituilla tiilityypeillä havaittiin olevan suotuista vaikutus sementtikomposiitin lujuuteen, kun sitä oli käytetty korvaamassa kymmenen prosenttia sementistä. Pati (2019) kokeili tiilijauheen käyttöä lasikuituvahvisteisessa epoksi-komposiitissa. Tiilijauheen havaittiin parantavan komposiittien tiheyttä, huokospitoisuutta, kovuutta ja iskulujuutta, kun taas lujuus ja taivutuskerroin laskivat.

Tangin ym. (2020) tutkimuksessa analysoitiin hienonnetun betonin ja tiilen käyttöä sementin korvikkeena betonissa. Tuloksista havaittiin, että hienonnetussa kierrätysmateriaalijauheessa on korkeampi piidioksidipitoisuus ja matalampi kalsiumoksidipitoisuus kuin sementillä. Mitä hienompaa jauhe on, sitä suurempi on sen reaktiivisuus. Betonin valmistuksessa kierrätysmateriaalijauheessa mediaanihalkaisijan tulisi olla alle 30 µm ja korvaussuhteen alle 30 prosenttia. Kierrätysmateriaaleja käyttäessä betonin juoksevuus laskee ja kovettumisaika lyhenee. Kun kierrätysjauheen partikkelikoko on hienempi kuin sementin, sen käyttö pienentää betonin kutistumista. Hienempi partikkelikoko vähentää myös betoniin tunkeutuvan veden ja kloridien määrää, mutta toisaalta, jos kierrätysmateriaalin partikkelikoko on suurta, vaikutus on päinvastainen. Tutkimuksessa havaittiin, että lisäämällä kierrätysmateriaalin hienoutta, lämpökäsittelmällä hienonnettua betonia, lisäämällä alkaliaktivaattoria ja käsittelemällä jauhettua betonia hiilidioksidilla, saadaan parannettua kierrätysmateriaalista tehtyä betonia. Lopussa esitettiin katsaus hienonnetun materiaalin uusista sovellutuksista geopolymeereissä, kuituvahvisteisissa komposiiteissa, vaahtobetonissa, itsetiivistävässä betonissa (SCC) ja ultrakorkealujuusbetonissa (UHPC).

Myös Wong ym. (2020) ovat tutkineet tiilen käyttöä geopolymeereissa. Tutkimuksissa havaittiin, että tiilijauheen määrän kasvaessa geopolymeerin virtaavuus väheni lineaarisesti. Tiilijauheen optimimääräksi todettiin 10 paino-%, ja kun määrää kasvatettiin suuremmaksi, virtausominaisuudet ja lujuus huononivat.

LASI MATERIAALINA

Lasi on määritelty kovaksi, läpinäkyväksi aineeksi, joka on valmistettu sulatetusta hiekasta, kalkista ja soodasta. Terminä ”lasi” pitää sisällään eri käyttötarkoituksiin suunniteltuja materiaaleja. Näitä ovat esimerkiksi soodalasi, lyijylasi eli kristalli ja borosilikaattilasi. (Lasin koostumus s.a.)

Kuvassa 2 näkyy kierrätyslasista tehtyä lasijauhetta, joka on hienonnettu kuulamylyssä BioSammossa. Kuvassa näkyvät myös kuulamylyn kuulat, joita on kahta eri kokoa.



KUVA 2. BioSammassa kuulamylyssä jauhattua lasia (kuva Teemu Karttaavi).

HIONNETUN LASIN HYÖDYNTÄMINEN

Kierrätyslasimursketta on käytetty betonissa hyvinkin näyttävisissä kohteissa, erityisesti sisätiloissa, jonne se soveltuu myös paremmin. Betonin runkoaineena hionnettua lasia on käytetty lähinnä yksittäisissä kohteissa. Julkisivubetoneissa kierrätyslasin käyttöön suhtaudutaan varauksella, sillä korvattaessa betonin runkoaineesta osa kierrätyslasilla suurimpana ongelmana on alkalikiviainesreaktio, jossa lasin silikaatit reagoivat sementin alkalien kanssa muodostaen paisuvia reaktiotuotteita. Tämä reaktio tapahtuu kosteissa olosuhteissa. (Simola 2015)

Lasijauhetta (GP) pidetään pozzolaanimateriaalina, joten sitä voidaan käyttää osittaisena sementin korvaavana materiaalina (Pozzolaani s.a.). Lasin jatkokäytöstä betonissa, laasteissa ja asfalttipäällysteissä kertoo jo mainittu Choudharyn ym. (2021) tutkimus neljän rakennusjätteen, tiilipölyn (BD), betonipölyn (CD), lasijauheen (GP) ja kalkkikivipölyn (LD) mahdollisuuksista asfalttibetoniseosten täyteaineina. Lasijauhetta sisältävällä asfalttiseoksella oli hyvä urautumis- ja halkeilukestävyys, mutta se ei toiminut niin hyvin täyteaineena, koska sen sisältämä piidioksidi johti huonoon suorituskykyyn kosteissa oloissa.

Hossam ja Rifat (2018) tutkivat sementin korvaamista lasijauheella ja sen vaikutusta sementtipastan viskositeettiin ja mekaanisiin ominaisuuksiin. Tutkimuksessa käytettiin

kahta sementtityyppiä viidellä eri lasijauheen osuudella. Toisella sementtityypillä juoksevuus lisääntyi ja kovettumisaika oli alhaisempi verrokkiseosta. Korvausasteella 10–20 prosenttia saavutettiin korkeampi puristuslujuus kuin verrokkiseoksella. Myös Yassen ym. (2019) testituloksista voitiin päätellä, että sementin korvaaminen osittain lasijauheella paransi betonin lujuutta (puristus ja taivutus) jopa 20 prosentin korvaustasolle asti. Yhdessä tutkimuksistaan Hossam ym. (2019) tutkivat lasijauheen vaikutuksia sementin korvaajana uusilla sekoitusmenetelmillä: perinteisellä sekoitusmenetelmällä, jossa lasijauhe lisätään sementin ja kiviainesten kanssa, ja toisella menetelmällä, jossa lasijauhe sekoitettiin veteen ennen sen lisäämistä sementtiin ja kiviaineksiin. Tavanomaisella sekoitusmenetelmällä tuoreen betonin puristuslujuus laski lasijauheen lisääntyessä. Uudella sekoitusmenetelmällä (erityisesti 10 %) saatiin suurempi puristuslujuus kuin perinteisellä sekoitusmenetelmällä.

Afshinnia ja Rangaraju (2016) tutkivat lasijauheen käytön vaikutusta joko sementin tai kiviaineksen korvaavana materiaalina portlandsementtibetonin työstettävyyss- ja mekaanisiin ominaisuuksiin (20 % korvaustaso). Lisäksi tutkittiin lasijauheen ja lasimurskan tai luonnonkiviaineksen yhdistelmien synergististä vaikutusta betonin ominaisuuksiin. Käyttämällä lasijauheen ja lasikiviaineksen yhdistelmää saatiin vahvaa ja kestävää betonia.

Omran ja Tagnit-Hamou (2016) raportoivat tutkimuksen lasijauhetta sisältävän betonin in situ -suorituskyvystä (paikan päällä tapahtuva), ja Hendi ym. (2019) esittivät tutkimuksessaan lasijauheen eri pitoisuuksien vaikutuksia SCC:n (itsetiivistyvän betonin) ominaisuuksiin. Lun ym. (2019) tutkimuksen tavoitteena oli kehittää ympäristöystävällinen betonielementtituote tehostamalla lasijätteen käyttöä. Lasijätettä hyödynnettiin sekä hienona kiviaineksenä että osittaisena sideaineena lasijauheen muodossa päällystepaloissa.

Patel ym. (2019) tutkivat hienonnetun lasin hyödyntämistä sementin korvikkeena pastan ja laastin valmistuksessa. Tutkimuksessa tarkasteltiin myös ympäristövaikutuksia, kun hienonnetun lasin hiukkaskokoa pienennettiin 12 µm (75:sta 63 µm:iin) korvausasteella 0–20 prosenttia pasta- ja laastikäsittelyssä. Tulokset osoittivat 20 prosentin pienemistä kestäväen kehityksen indekseissä sekoituspastalle. Vertailu osoitti myös, että hiukkaskoon pienentäminen 12 µm:llä paransi korvaavuutta jopa viisi prosenttia. Myös Wangin ym. (2020) tutkimuksessa tutkittiin laasteja, jossa jätelasi jauhettiin jätelasijauheeksi (WGP) ja jätelasihiekaksi (WGS). Jauhatusajalla oli hallitseva rooli aktiivisen SiO₂:n määrässä ja WGP:n hiukkaskokojakaumassa.

Kierrätyslasi jauhetta on tutkittu myös tiili-, laatta- ja saniteettimassojen raaka-aineena. Eräissä tutkimuksissa (Smith 2005) laskettiin lisäksi säästöjä, joita saadaan käyttämällä lasijauhetta tiilimassan seassa. Lasijauheen lisäys (5–10 %) paitsi paransi huokosrakennetta, puristuslujuutta ja pakkasenkestävyyttä mahdollisti myös polttolämpötilan alentamisen. Tällöin saavutettiin energiasäästöä 18,7 prosenttia ja CO₂-päästöt vähenivät.

Tärkeänä esimerkkinä voidaan myös mainita hienonnetun lasin käyttäminen vaahtolasissa. Vaahtolasi valmistetaan puhdistetusta keräyslasista, joka jauhetaan alle 0,1 mm:n lasijauheeksi. Jauheen sekaan lisätään vaahtotuskemikaalia. Uunissa lasimassa paisuu lähes viisinkertaiseksi ja kovettuu. Näin valmistetussa vaahtolasissa on noin 92 prosenttia ilmahuokosia. Jäähtymisen aikana vaahtolasi hajoaa murskeeksi, jota voidaan käsitellä edelleen käyttötarkoituksen mukaisesti haluttuun muotoon. Vaahtolasimursketta voidaan käyttää tienrakentamisessa ja perustuksissa sekä talojen sisä- ja ulkotäytöissä. Materiaali on kevyttä ja kulmikasta, eikä se ime kosteutta maaperästä. (Pekkala 2014)

Hienonnettua lasia voidaan hyödyntää myös vaahtobetonissa hiekan korvaavana täyteaineena (Chandni ym. 2018), maaperän täyttö- tai parannusaineena, maisemoinnissa sekä jätevesien suodatuksessa (Andela 2014). Alkaliaktivoitujen materiaalien eli geopolymeerit ovat herättäneet paljon huomiota erinomaisten ominaisuuksiensa ansiosta. Hienonnetun lasin käyttö aggregaateina, prekursoreina (esiaste) ja aktivaattoreina geopolymeerien valmistuksessa vaikuttaa toteuttamiskelpoiselta tavalta hyödyntää lasijätettä sekä pienentää geopolymeerien kustannuksia (Yiwei ym. 2019).

Lasijauheen käyttömahdollisuutta PCM-materiaalissa (PCM, Phase Change Material) on myös tutkittu. PCM-materiaaleilla on kyky varastoida ja vapauttaa suuri määrä lämpöenergiaa faasimuutoksen yhteydessä. Memon ym. (2013) tutkimuksessa havaittiin, että muodostettua PCM-komposiittia voidaan käyttää onnistuneesti lämpöenergian varastointisovelluksiin rakennuksissa.

KERAMIikka/POSliINI MATERIAALINA

Keramiikka on korkeassa lämpötilassa poltettua savea. Saven voi kuivumisen jälkeen muuttaa takaisin plastiseen muotoon sekoittamalla sen veteen, mutta jos saven kuumentaa yli 600 °C:seen, siitä tulee kova aine, joka ei enää liukene eikä palaudu. Tavanomaista karkeakeramiikkaa ovat erilaiset tiilet ja tiilielementit, ja hienokeramiikkaan katsotaan kuuluvaksi esimerkiksi talous- ja saniteettikeramiikka. Posliini on läpikuultavaa, valkoista ja kovaa polttamalla valmistettua keramiikkaa, joka koostuu noin 45–55-prosenttisesti kaoliinisavesta. Lisäksi siinä on sekä kvartseja että maasälpää, kumpaakin 22–28 prosenttia. (Keramiikan materiaalit 2021)

HIENONNETUN POSliININ HYÖDYNTÄMINEN

Posliinimurskaa voidaan käyttää esimerkiksi tiilien valmistuksessa. Muun muassa Tiilerissä hyödynnetään nykyisin keraamisia jätevirtoja tiilien valmistuksessa. Keraamiset murskeet ovat teräväsärmäisiä ja parantavat tiilen rakennetta (Kiertotalous vauhdittamaan tuotekehitystä 2020). Kuvassa 3 on jäteposliinia, joka on hienonnettu BioSammossa leukamurskaimella jatkojyödyntämistä varten.



KUVA 3. BioSammossa leukamurskaimella hienonnettua posliinia (kuva Teemu Karttaavi).

Hienonnettua posliinia voidaan myös käyttää osittaisena sementin korvikkeena. Alsaif (2021) on koostanut julkaisuunsa katsauksen 146 artikkelista, joissa on tutkittu keraamisen jättejauheen (CWP) hyödyntämistä sementin sijasta. Katsauksen mukaan CWP:llä sementin korvaavuus (koskien sementtipastan, laastin, betonin ja SCC:n seosten tuoreita, mekaanisia ja kestävyysominaisuuksia) näyttää olevan toimivaa korkeintaan noin 20 prosenttiin asti. Aiemmissä tutkimuksissa on havaittu myös riittävien todisteiden puutetta, mikä on johtanut epäjohdonmukaisuuksiin tutkijoiden tulosten välillä koskien muun muassa kuivakutistumista, alkalipiidioksidireaktiota (ASR), veden tunkeutumissyvyyttä ja korroosiota. Tulevissa tutkimuksissa tulisi kiinnittää huomiota näihin ominaisuuksiin. Lisäksi pitkäkestoisuus, palonkestävyys, pakkasenkestävyys, kaasunläpäisevyys ja karbonaatio ovat ominaisuuksia, joita ei ole vielä laajasti tutkittu.

Sekä keraamisen jätteen että myös marmorijauheen hävittäminen on yksi suurista ympäristö-ongelmista maailmanlaajuisesti. Chandinin ja Karunakarin (2016) tutkimuksessa sementti (OPC, Ordinary Portland Cement) korvattiin keraamisella jättejauheella ja hienojakoinen kiviaines jätemarmorijauheella. Tuloksista havaittiin, että puristuslujuus, vetolujuus ja taiputuslujuus kasvoivat keraamisen jättejauheen ja marmorijauheen osuuden kasvaessa 20 prosenttiin asti, minkä jälkeen ne pienenevät.

Geopolymeerit ovat nousseet nopeasti ympäristöystävällisiksi vaihtoehtoiksi tavallisille OPC-materiaaleille hyvien fysikaalisten ja kemiallisten ominaisuuksien ansiosta. Keramiikassa on piidioksidia ja alumiinioksidia, jolloin sitä voidaan käyttää kiviaineksena geopolymeeribetonin valmistuksessa. Luhar ym. (2021) esittävät katsauksen eri tutkimuksista, jotka käsittelevät keraamisen jätteen käyttöä geopolymeerikomposiiteissa. Seuraavia johtopäätöksiä voitiin tehdä: käyttämällä keraamista kiviainesta luonnonhiekkan korvikkeena saatiin optimistisia tuloksia koskien puristuslujuutta, taivutuslujuutta ja vetolujuutta. Myös alkaliaktivoitujen laastien työstettävyys, kovettumisaikaominaisuudet ja korkeampien lämpötilojen kestävyys paranivat keraamisen hienonnetun jätteen määrän nousemisen myötä.

YHTEENVETO

BIOKE-hankkeessa edistettiin eri materiaalien parempaa kiertoa tarkoituksena vähentää kaatopaikoille tai muuhun loppusijoitukseen päätyvän materiaalin määrää. Hienontamalla jättemateriaaleja saadaan lisättyä materiaalien tasalaatuisuutta ja reaktiivista pinta-alaa, mikä edesauttaa jatkohyödyntämistä. Xamkin BioSampo-tutkimuskeskuksessa tehtyjen hienontamiskokeiden perusteella tehtiin valittujen hienontamiseen soveltuvien materiaalien (betoni, tiili, lasi ja posliini) jatkohyödyntämiskartoitusta tieteellisiin artikkeleihin perustuen.

Betoni koostuu sementistä, kiviainesta, vedestä ja lisäaineista. Sitä käytetään erityyppisissä käyttökohteissa rakennusten rungoista ja silloista aina taideteoksiin asti. Hienonnettua betonia voidaan käyttää muun muassa asfalttibetoniseosten täyteaineina, mikä parantaa tien urautumis- ja halkeilukestävyyttä. Sitä voidaan hyödyntää myös hiilensitojana sekä absorbenttina poistamassa savukaasujen rikkidioksidia. Muurauslaastissa sitä käytettäessä laastin vedensidontakyky sekä siitä johtuen mekaaninen kestävyys ja sidosvoima paranevat.

Tiilen pääraaka-aineita ovat savi, vesi, hiekka ja kalkki. Murskattua tiiltä voidaan käyttää korvaamaan osaa tiilen raaka-aineesta. Murskattua savitiiltä voidaan käyttää onnistuneesti myöskin betonin ja asfaltin valmistuksessa, sementtikomposiiteissa sekä geopolymeereissa.

Lasi on läpinäkyvää ainetta, joka on valmistettu sulatetusta hiekasta, kalkista ja soodasta. Kierrätyslasia hienonnettuna on käytetty muun muassa sementin korvaajana, jolloin on saavutettu korkeampia puristuslujuuksia korvaustasolle 20 prosenttia asti. Hienonnettua lasia voidaan käyttää myös vaahtolasina tienrakentamisessa, perustuksissa ja maaperän täyttö- tai parannusaineena. Sitä voidaan käyttää myös geopolymeerien valmistuksessa ja faasimuutosmateriaaleissa, joita käytetään lämmön varastoinnissa.

Keramiikka on korkeassa lämpötilassa poltettua savea. Se soveltuu hienonnettuna käytettäväksi tiilen, betonin ja geopolymeerien valmistukseen. Teräsväsrämäiset keramiikkamurskeet parantavat tiilen rakennetta, ja sitä voidaan käyttää osittaisena sementin korvikkeena. Luonnonhiekkan korvikkeena sillä on saatu optimaalisia lujuusarvoja geopolymeerikomposiiteissa.

LÄHTEET

Afshinnia, K. & Rangaraju, P.R. 2016. Impact of combined use of ground glass powder and crushed glass aggregate on selected properties of Portland cement concrete. *Construction and Building Materials*.

Aliabdo, A., Abd-Elmoaty, A-E. & Hassan, H. 2012. Utilization of crushed clay brick in concrete industry. *Alexandria Engineering Journal*.

Alsaif, A. 2021. Utilization of ceramic waste as partially cement substitute – A review. *Construction and Building Materials*.

Andela, C. Applications for Using Pulverized Glass Aggregate. 2014. Presentation.

Betoni hiilinieluna s.a. Saatavissa: <https://www.rudus.fi/vastuullisuus/betoni-hiilinieluna> Viitattu 16.8.2022

Betoni rakennusmateriaalina s.a. Saatavissa: <https://betoni.com/tietoa-betonista/perustie-topaketti/betoni-rakennusmateriaalina/> Viitattu 16.8.2022

Chandini, G. & Karunakar, P. 2016. Sustainable Concrete using Ceramic Waste and Marble Dust. *International Journal for Technological Research in Engineering*.

Chandni, T.J. & Anand, K.B. 2018. Utilization of recycled waste as filler in foam concrete. *Journal of Building Engineering*.

Chen, M-Z., Lin, J-T., Wu, S-P. & Liu, C-H. 2011. Utilization of recycled brick powder as alternative filler in asphalt mixture. *Construction and Building Materials*.

Choudhary, J., Kumar, B. & Gupta, A. 2021. Potential utilization of construction wastes in asphalt pavements as fillers using ranking framework. *Construction and Building Materials*.

Foamit-vahtolasimurske on monipuolinen uusiomateriaali. Saatavissa: <https://foamit.fi/tuotteet/> Viitattu 25.5.2022.

Hendi, I., Mostofinejad, D., Sedaghatdoost, A., Zohrabi, M., Naeimi, N. & Tavakolini, A. 2019. Mix design of the green self-consolidating concrete: Incorporating the waste glass powder. *Construction and Building Material*.

Hossam E. & Rifat R. 2018. Effect of using glass powder as cement replacement on rheological and mechanical properties of cement paste. *Construction and Building Materials*.

Hossam, A. E., Mohamed, A. A. H. & Rifat, N. R. 2019. Effect of new mixing method of glass powder as cement replacement on mechanical behavior of concrete. *Construction and Building Materials*.

Keramiikan materiaalit. 2021. Saatavissa: https://openlearning.aalto.fi/pluginfile.php/93019/mod_resource/content/2/Keramiikan%20materiaalit%20Aalto%202021.pdf Viitattu 25.5.2022.

Kiertotalous vauhdittamaan tuotekehitystä. 2020. *Rakennuslehti* 5.11.2020. Saatavissa: <https://www.rakennuslehti.fi/2020/11/kiertotalous-vauhdittamaan-tuotekehitysta/> Viitattu 2.6.2022

Lasin koostumus s.a. Saatavissa: <https://www.pilkington.com/fi-fi/fi/tietoa-yhtiosta/mita-lasi-on/lasin-koostumus> Viitattu 25.5.2022.

Li, H., Dong, L., Jiang, Z., Yang, X. & Yang, Z. 2016. Study on utilization of red brick waste powder in the production of cement-based red decorative plaster for walls. *Journal of Cleaner Production*.

Liu, D., Quan, X., Zhou, L., Huang, Q. & Wang, C. 2021. Utilization of waste concrete powder with different particle size as absorbents for SO₂ reduction. *Construction and Building Materials*.

Liu, Q., Li, B., Xiao, J. & Singh, A. 2020. Utilization potential of aerated concrete block powder and clay brick powder from C&D waste. *Construction and Building Materials*.

Lu, J-X., Zheng, H., Yang, S., He, P. & Poon, C. 2019. Co-utilization of waste glass cullet and glass powder in precast concrete products. *Construction and Building Materials*.

Luhar, I., Luhar, S., Abdullah, M., Nabisiek, M., Sandu, A., Szmidla, J., Jurczynska, A., Razak, R., Aziz, I., Jamil, N. & Deraman, L. 2021. Assessment of the Suitability of Ceramic Waste in Geopolymer Composites: An Appraisal. *Materials*.

Memon, S. A., Yiu, Lo T. & Cui, H. 2013. Utilization of waste glass powder for latent heat storage application in buildings. *Energy and Buildings*.

Neno, C., Brito, J. & Veiga, R. 2014. Using Fine Recycled Concrete Aggregate for Mortar Production. *Materials Research*.

Omran, A. & Tagnit-Hamou, A. 2016. Performance of glass-powder concrete in field applications. *Construction and Building Materials*.

Pati, P. 2019. Characterization of glass-epoxy composites using red brick dust particles. *Materials Today: Proceedings*.

Patel, D., Tiwari, R.P., Shrivastavad, R. & Yadav R.K. 2019. Effective utilization of waste glass powder as the substitution of cement in making paste and mortar. *Construction and Building Materials*.

Pekkala, J. 2014. Vaahtolasimurske rakentamisessa. *Rakennustieto.fi*. Viitattu 25.5.2022. Saatavissa: <https://www.rakennustieto.fi/Downloads/RK/RK140402.pdf>

Pozzolaani s.a. Saatavissa: <https://www.betonitieto.fi/kirjasto-ja-sanasto/betonisanasto/pozzolaani.html> viitattu 28.6.2022

Simola, L-K. Lasin käyttö betonissa vaatii lisätutkimuksia ja kokemuksia. 2015. Saatavissa: https://betoni.com/wp-content/uploads/2015/10/BET1503_48-53.pdf Viitattu 16.6.2022

Smith, A. S. 2005. *Glass Addition Trials: York Handmade Bricks Co Ltd*.

The Waste & Resources Action Programme. Saatavissa: <https://d3pcsg2wj9izr.cloudfront.net/files/8818/articles/4583/4583.pdf>

Tang, Q., Ma, Z., Wu, H. & Wang, W. The utilization of eco-friendly recycled powder from concrete and brick waste in new concrete: A critical review. 2020. *Cement and Concrete Composites*.

Wang, Y., Cao, Y., Zhang, P. & Ma, Y. 2020. Effective Utilization of Waste Glass as Cementitious Powder and Construction Sand in Mortar. *Materials*.

Wong, C., Mo, K., Alengaram, J. & Yap, S. 2020. Mechanical strength and permeation properties of high calcium fly ash-based geopolymer containing recycled brick powder. *Journal of Building Engineering*.

Yassen, M., Mahmoud A. & Hama S. 2019. Effectiveness of Glass Wastes as Powder on Some Hardened Properties of Concrete. *Al-Nahrain Journal for Engineering Sciences NJES*.

Yiwei, L., Caijun, S., Zuhua, Z. & Ning, L. 2019. An overview on the reuse of waste glasses in alkali-activated materials. *Resources, Conservation & Recycling*.

HAASTAVIEN MATERIAALIEN TUTKIMUS JA KIERRÄTYKSEN EDISTÄMINEN HIENONTAMALLA BIOSAMMOSSA

Maunu Kuosa & Anne Gango & Teemu Karttaavi & Eveliina Kuokkanen
& Esa Huuhtanen & Juha Solio & Tuija Korpela

BIOKE – Haastavien materiaalien tutkimus ja kierrätyksen edistäminen hienontamalla BioSammassa -hanke toteutui aikavälillä 1.1.2020–31.8.2022. Kehityshankkeen rinnalla alkoi samaan aikaan BIOKE, investoinnit -hanke, joka jatkui 31.12.2021 asti. Molempien hankkeiden päärahoittajana toimi Euroopan aluekehitysrahasto, ja lisäksi hankkeita rahoittivat Kaakkois-Suomen Ammattikorkeakoulu Oy ja Umacon Oy (kehityshankkeen osarahoitus). Hankkeita hallinnoi Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu.

JOHDANTO

Maapallon resurssit ovat rajalliset, ja siksi on tärkeää hyödyntää olemassa olevat materiaalit mahdollisimman tarkasti. Kierrätyksen – materiaalien talteenoton ja hyötykäytön – edistämiseksi tarvitaan tutkimusta.

BIOKE-hankkeessa kartoitettiin materiaalivirtoja Kymenlaaksosta ja lähimaakunnista. Hankkeen tavoitteena oli edistää haastavien teollisuuden sivuvirtojen ja kierrätysyritysten materiaalien hyödyntämistä. Kuvassa 1 on hankkeen aikana tehty geopolymeeriruukku, jonka valmistuksessa on hyödynnetty kierrätettyä tiilijauhetta.



KUVA 1. Kierrätetystä tiilijauheesta tehty geopolymeeriruukku, jossa kasvaa istutettua heinää (kuva Teemu Karttaavi).

Materiaalien hienonnustekniikan tutkimusympäristöä kehitettiin rinnakkaisen investointihankkeen avulla. Investointeja tehtiin materiaalien analysointitekniikkaan ja hienonnuksilaitteisiin.

Hankkeen aikana tutkittiin kartoitusten aikana potentiaalisimmiksi havaittujen materiaalien kierrätystä hienontamisen kautta. Kierrätysmateriaaleja hankittiin eri yrityksistä ja niille tehtiin hienontamiskokeita. Uusiokäyttöä varten hienonnettiin jätelasia, betonia, posliinia, tiiltä ja muita yritysten materiaaleja. Hienonnuksen lisäksi osa jauheista seulottiin. Materiaalin hienontaminen tekee materiaalista homogeenisempää ja partikkeleista tasakokoisempia, ja pinta-alan kasvu parantaa materiaalin kemiallista reaktiivisuutta.

Osana hankkeen toteutusta tehtiin pienimuotoisia käytännön kokeita hienonnetuille materiaaleille. Näitä materiaaleja käytettiin geopolymeerien valmistuksessa, ja ne vastasivat sementistä ja vedestä tehtyjä laasteja. Kierrätyslasia sisältävän betonin lujuusominaisuuksia tutkittiin ja estetiikkaa pyrittiin lisäämään tuomalla lasia esiin betonin pinnalla.

Kiertotalouden periaatteiden mukaan resurssit hyödynnetään mahdollisimman tarkasti, jolloin jätettä syntyy mahdollisimman vähän (Deutz 2020). Tämän selvityksen lisäksi tehtiin jatkohyödyntämiskartoitusta hienonnetun betonin, lasin, posliinin ja tiilen osalta.

HAASTAVASTI KIERRÄTETTÄVIEN MATERIAALIEN KARTOITUS

BIOKE-hankkeessa edistettiin teollisuuden ja kiertotalousyritysten materiaalien parempaa kiertoa tarkoituksena vähentää kaatopaikoille tai muuhun loppusijoitukseen päätyvän materiaalin määrää. Tehtävänä oli Kymenlaaksosta ja lähimaakunnista muodostuvien teollisuuden ja kiertotalousyritysten haastavien materiaalivirtojen kartoittaminen ja yhteydenotot potentiaalsiin materiaalivirtojen tuottajiin ja toimittajiin. Näitä materiaaleja olivat esimerkiksi renkaat, kipsilevyt, lasi, keramiikka, tiilet, betoni, lujitemuovit, tuhkat ja kattohuopa.

Selvityksen ensimmäisessä vaiheessa lähteinä käytettiin Fonecta Finderiä, Googlea ja Suomen yritysrekisteriä. Näistä kartoitettiin Etelä-Karjalan, Kymenlaakson, Päijät-Hämeen ja Uudenmaan teollisuus- ja kiertotalousyrityksiä. Alueselvitysten lisäksi tehtiin koostera-portteja muun muassa muovi-, posliini-, purkubetoni- ja tekstiilijätteistä sekä kierrätykseen liittyvistä laki- ja työturvallisuusnäkökulmista.

Kartoituksen toisessa vaiheessa haettiin tietoa maakuntien ELY-keskuksien Kaakkois-Suomi, Etelä-Savo, Häme ja Uusimaa kautta. Yrityksiin ja jätelaitoksiin toimitettiin kyselyjä haasteellisista materiaaleista. Jätevirtoja koskevia tietoja saatiin myös Etelä-Savosta. Uudenmaan

ELY:stä selvisi, että YLVA-tietokannasta olisi saatavilla tietoja jätelajeittain kaikkiin kuntiin/ maakuntiin Suomen ympäristökeskuksen (SYKE) kautta.

Eri toimijoilta saatujen tietojen esitystapa ja jätelajien erittely vaihtelivat suuresti. Taulukossa 1 esitetään erään kiertotalousyrityksen ilmoittamia tietoja esimerkinomaisesti vuosilta 2019–2021. Yritys toimii kuntien Valkeakoski, Hämeenlinna, Hyvinkää, Järvenpää ja Nurmijärvi alueella. Kyseisellä toimijalla kierrätysmateriaalien betoni ja tiili määrät (tn/ vuosi) olivat suurimpia.

TAULUKKO 1. Erään kiertotalousyrityksen ilmoittamia jätemääriä vuosilta 2019–2021 (jätejae/tonni/vuosi). Yritys toimii kuntien Valkeakoski, Hämeenlinna, Hyvinkää, Järvenpää ja Nurmijärvi alueella.

| Jätejae/tn | 2019 | 2020 | 2021 |
|-----------------|--------|-------|-------|
| Ajoneuvorenkaat | 193 | 289 | 277 |
| Kipsi | 300 | 327 | 444 |
| Lasi | 868 | 380 | 69 |
| Betoni | 12 446 | 2 416 | 1 897 |
| Tiili | 1 928 | 2 416 | 1 897 |
| Tuhka | 42 | 51 | 79 |
| Kattohuopa | 670 | 430 | 355 |

INVESTOINNIT JA TUTKIMUSYMPÄRISTÖN KEHITTÄMINEN

Investointeja tehtiin rinnakkaisessa hankkeessa BIOKE, investoinnit. Rinnakkaisen hankkeen kesto oli 1.1.2020–31.12.2021. Hankkeen budjetti oli 175 000 euroa.

BIOKE, investoinnit -hankkeessa kehitettiin Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulun bio- ja kiertotalouden tutkimuskeskuksen BioSammon materiaalihienonustekniikan tutkimusympäristöä. Investoinnit mahdollistivat entistä laajemman ja laadukkaamman pilotointien ja innovointien tekemisen BioSammossa sekä loivat Kymenlaaksoon valmiuksia tutkia eri yritysten sivuvirtojen kierrättämistä.

Hankkeessa investoitiin sekä hienonnetun materiaalin analyysitekniikkaan että materiaalien hienonnuksilaitteisiin. Analyysilaitteistot, jotka paransivat BioSammon tutkimuskantaa, ovat partikkelikokoanalyysointilaitteisto sekä tärysihtisarja. Partikkelikokoanalyysointilaitteen hankinta mahdollisti hienojakoisen aineen partikkelikokoanalysoinnin sekä siihen liitetty kamera myös partikkelin muodon tutkimisen. Kuvassa 2 esitetään partikkelikokoanalyysointilaitteisto BioSammon laboratoriossa pöydälle sijoitettuna.



KUVA 2. Partikkelikokoanalysointilaitteisto, Microtrac FlowSync (kuva Eleviina Kuokkanen).

Hienonnuislaitteistopuolelle investoinnit -hankkeen avulla hankittiin leukamurskain, leikkuumylly sekä kuulamyly. Muita BIOKE-hankkeiden investointeja olivat pH-mittari, pukkinosturi, massasekoitin, mikroskoopin kamera ja ultraäänilaitte.

Murskain on kiinteiden aineiden pienemmiksi särkeämiseen tarkoitettu kone. Murskaimia voidaan käyttää pienentämään jättemateriaalien kokoa tai muuttamaan niiden muotoa, jotta ne voidaan helpommin kierrättää tai hävittää. Hienontaminen perustuu iskuun, puristukseen, hankaukseen, leikkuuseen tai partikkelien yhteenlöymäykseen (Kaiva.fi s.a.). Murskaimen syötteen maksimipartikkelikoko riippuu hienonnuislaitteistosta ja sen tyypistä. Murskauksen jälkeen materiaali johdetaan usein seulakoneeseen lajiteltavaksi ennen jatkojalostusta (Machinery Partner s.a.).

Leukamurskaimella voidaan hienontaa kovia, keskikovia, hauraita ja sitkeitä materiaaleja, joiden kokoluokka on alle 90 mm. Kuvassa 3 esitetään BioSammon koehallissa oleva leukamurskain, jota voidaan käyttää sekä esimurskaimena seuraavaa hienonnusvaihetta varten että itsenäisenä murskaimena.



KUVA 3. Leukamurskain, Jaw crusher BB 250 (kuva Eveliina Kuokkanen).

Leukamurskain soveltuu muun muassa rakennusmateriaalien, lasin, hiilen ja mineraalien jauhatukseen. Leukamurskaimessa hienontaminen tapahtuu kiilan muotoisella alueella, jossa toisen seinän elliptinen liike murskaa materiaalia, joka hienonnuttuaan liikkuu kohti jauhatuskammion pohjalla olevaa rakoja. Lopputuotteen kokoluokka riippuu laitteiston asetuksista, mutta yleisesti ottaen päästään kokoluokkaan alle 2 mm.

Leikkumylly käy pehmeiden, keskikovien, sitkeiden, joustavien ja kuitumaisten materiaalien hienontamiseen syötteen kokoluokan ollessa alle 60 mm. Mylly soveltuu muun muassa elektroniikkajätteen, puun, rehun, muovien, sekundääristen polttoaineiden ja tekstiilien jauhatukseen. Leikkumyllyssä hienonnus tapahtuu pyörivän leikkuterillä varustetun roottorin avulla. Leikkumyllyn jauhatuskammion alaosaan laitettavan reikälevyn avulla voidaan säätää tuotteen partikkelikokoa. Valmis hienonnettu materiaali voidaan poistaa leikkumyllystä painovoimaisesti tai laitteistoon asennettavan syklonin kautta. Laitteistoon hankittiin pieni sykloni ja hankkeen aikana siihen kehitettiin ja valmistettiin isompi sykloni kevyen tuotteen talteenottoa varten. Kuvassa 4 on leikkumylly.



KUVA 4. Leikkumylly (Cutting mill SM 300) vasemmalla (kuva Juha Solio) ja oikealla jauhattua PVC-muovia (kuva Teemu Karttaavi).

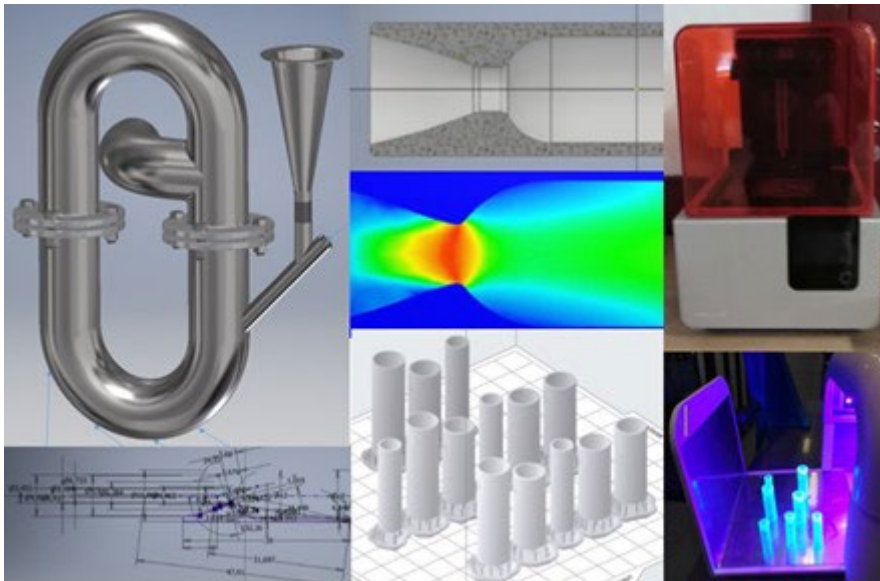
Panostoimisella kuulamyllyllä voidaan sekä hienontaa että vain sekoittaa materiaaleja. Mylly jauhaa pehmeitä, kovia, hauraita ja kuitumaisia materiaaleja kokoluokkaan alle 20 µm. Kuulamyllyllä voidaan jauhaa muun muassa kivimäisiä rakennusmateriaaleja, ei-metallista elektroniikkajätettä, lasia ja mineraaleja. Edellisiin jauhatuslaitteisiin verrattuna kuulamyllyn kapasiteetti on pieni, mutta toisaalta saavutettu partikkelikoko on erittäin pieni. Kuvassa 5 vasemmalla on kuulamyllyn konstruktion jauhatusosio kippilaitteineen, ja oikealla näkyy myllyn sisällä olevaa hienonnettua betonia.



KUVA 5. Kuulamylly ja siinä jauhattua betonia, Drum mill TM 300 (kuva Teemu Karttaavi).

BioSammossa on käytössä Xamkissa kehitetty ja valmistettu suihkujauhin Loop. Loop-jauhin toimii paineilmalla, ja se soveltuu hauraiden materiaalien hienontamiseen. Kuvassa 6 on vasemmalla Loop-jauhimen periaatekuva. Materiaalin syöttö jauhimeen tapahtuu kartiosta ja paineistetun ilman syöttö kartion ja laitteiston alapuolella olevilta suuttimilta. Suihkujauhimessa materiaalin hienontumista tapahtuu partikkelien törmätessä toisiinsa sekä jauhimen seinämiin (jetmillMFG s.a.). Hienontunut jauhe poistuu kanavaa pitkin laitteiston keskeltä lähtevän ilman mukana. Raskaammat ylisuuret hiukkaset pysyvät kiertämässä ovaalin muotoista jauhatuskammiota, kunnes haluttu partikkelikoko on saavutettu.

Jauhinta kehitettiin edelleen BIOKE-hankkeen aikana, jolloin jauhimeen suunniteltiin, mallinnettiin ja valmistettiin suutinrunkoja sekä suuttimia. Suunnittelun lähtökohtana oli mahdollisimman suuri virtausnopeus suhteessa käytettyyn ilmamäärään. Kehitystyön aikana valmistettiin metalliset suutinrungot ja suuttimenpitimet sekä 3D-tulostettiin virtausmallinnuksen tulosten perusteella parhaimmiksi todetut suuttimet. Kuvassa 6 on myös esitettyä mallinnuskuvaa Loop-jauhimesta sekä kuvia suuttimien mallinnuksesta ja valmistuksesta.



KUVA 6. Hankkeissa valmistetun Loop-jauhimen periaatteellinen kuva sekä kuvia Loopin suuttimien mallinnuksesta ja valmistuksesta (kuva Huuhtanen).

MUUT JAUHIMET

Hankkeen aikana BioSampoon saatiin käyttöön myös kartiomurskain sekä valssimurskain, joita hyödynnettiin hankkeessa. Kartiomurskaimessa materiaalia puristetaan epäkeskeisesti pyörivän vuoratun karan ja sitä ympäröivän suppilon välissä. Kartiomurskain on märkä-murskain, jolla saadaan hienonnettua materiaali tehtyjen kokeiden mukaisesti jopa 80 µm:n kokoluokkaan. Valssimurskaimessa murskaus tapahtuu kahden vaakasuoran akselin varassa vastakkaisiin suuntiin pyörivien sylinterien välissä (Kurttio 2012). Valssimurskaimessa voidaan hienontaa kovia ja pehmeitä materiaaleja, jolloin tuotteen kokoluokka on kymmenistä mikrometreistä mutामीin millimetreihin. Valssimurskaimeen kehitettiin hankkeen aikana pölysuoja niin, että valmis tuote saadaan ohjattua hallitusti lopputuotteen keräimeen ilman sen pölyämistä ympäristöön. Samalla tuotteen kontaminaatoriskit pienentyivät.

MATERIAALIEN HIENONTAMINEN JA ANALYSOINTI

Materiaalivirtojen kartoituksen ja investointien ohessa toteutettiin materiaalien hienontamista BioSammossa Anjalassa. Potentiaalisimmiksi arvioituja kierrätysmateriaaleja hankittiin (mm. Umacon Oy ja Hyötyvirta Oy) ja materiaaleille tehtiin hienontamiskokeita. Mahdollisesti kierrätystuotteisiin soveltuvia materiaaleja esimurskattiin, hienonnettiin sekä seulottiin, minkä jälkeen selvitettiin kokojakauma partikkelikokoanalysointilla. Lopuksi saatuja tuloksia vertailtiin keskenään muun muassa eri prosessien toimivuuden ja jauhaantuvuuden toteamiseksi.

BioSammossa hienonnettiin muun muassa taulukon 2 mukaisia materiaaleja: tiili, posliini, betoni, lasi ja keinokuitu. Hienonnuksen työvaiheita olivat murskaus ja murskeen jauhatus. Taulukossa 2 esitetään materiaalien lisäksi jauhamisen käsittelyprosessi eri jauhimilla sekä esimerkkejä, mihin jauhattu materiaali mahdollisesti soveltuisi jatkohyödyntämiseen.

Valssimurskaimella murskattiin tiiltä ja lasia (taulukko 2). Leukamurskain teki karkeaa mursketta kovista materiaaleista, kuten tiili, posliini, betoni ja lasi. Leukamurskaimella tehtiin esimurskaus ja kuulamylyllä saatiin hienempi jae. Kuulamyly tuotti hienoa jauhetta kovista aineista, kuten posliini, betoni ja lasi. Leikkuumyly soveltui hyvin pehmeille materiaaleille, kuten keinokuidut.

TAULUKKO 2. Jauhettuja materiaaleja, hienonnusprosessi ja mahdollinen soveltuvuus.

| Materiaali | Prosessi | Mahdollinen soveltuvuus |
|-----------------|---|---|
| Tiili | valssi- / leukamurskain, kuulamyly | geopolymeeri, betoni (korvaa sementtiä) |
| Posliini | leukamurskain, kuulamyly | geopolymeeri, betoni (korvaa kiviainesta ja sementtiä) |
| Kierrätysbetoni | leukamurskain, kuulamyly, (opinnäytetyö tehty) | kiviaineksen ja sementin korvaaminen betonissa |
| Lasi | valssi- / leukamurskain, kuulamyly (opinnäytetyö tehty) | betoni, estetiikka, lasia pintaan, geopolymeeri betonissa (korvaa kiviainesta ja betonia) |
| Keinokuitu | leikkuumyly | neitseellisen kuidun korvaaminen |

Hankkeessa jatkokehitetyllä Loop-jauhimella hienonnettiin muun muassa hiiltä onnistuneesti. Lasi ja kipsilevy osoittautuivat liian raskaiksi ja koviksi materiaaleiksi. Näiden osalta jauhatus ei tuottanut haluttua lopputulosta johtuen Loop-jauhimen paremmasta soveltuvuudesta hauraille materiaaleille.

Partikkelikokoanalyysointori mittaa eri materiaalien hiukkasten kokoa laserdiffraktion avulla. Sillä tehtiin jauhatustulosten ja mekaanisen seulonnan jälkeisiä partikkelien kokojakautuma-analyysyjä, jolloin saatiin hienonnetun materiaalin (< 1 mm) pienempien jakeiden kokojakautumia.

Hankkeessa selvitettiin myös kierrätysmateriaalien soveltuvuutta geopolymeerien valmistukseen. Geopolymeereista tehtiin laasteja ja betoneja korvaavia massoja. Tutkimuksessa havaittiin tiilen ja lasin soveltuvan hyvin geopolymeerien raaka-aineiksi (taulukko 2). Lisäksi hankkeessa valmistettiin betonia, jossa yhtenä raaka-aineena käytettiin kierrätyslasimurskaa.

Suurten jätevirtojen kiertotalouskeskuksista ja tehtailta olisi hyvä tulla lajiteltuna jatkokäsittelyyn, koska jälkeen päin lajittelu on suuritöistä. Kierrätyslaitoksiin tulee monia eri jakeita, ja näistä esimerkiksi on todettu, että kattohuovasta sata prosenttia voidaan sijoittaa asfalttiin. Lujitemuovi taas voitaisiin toimittaa polttolaitoksille, sillä kiertotalousyrityksissäkään ei ole sille löytynyt jatkokäyttöä. Seuraavassa esitellään joitakin projektissa toteutettuja pienimuotoisia käytännön kokeita hienonnetuille materiaaleille, kuten geopolymeerien valmistus ja kierrätyslasin käyttö kuivabetonissa.

GEOPOLYMEERI

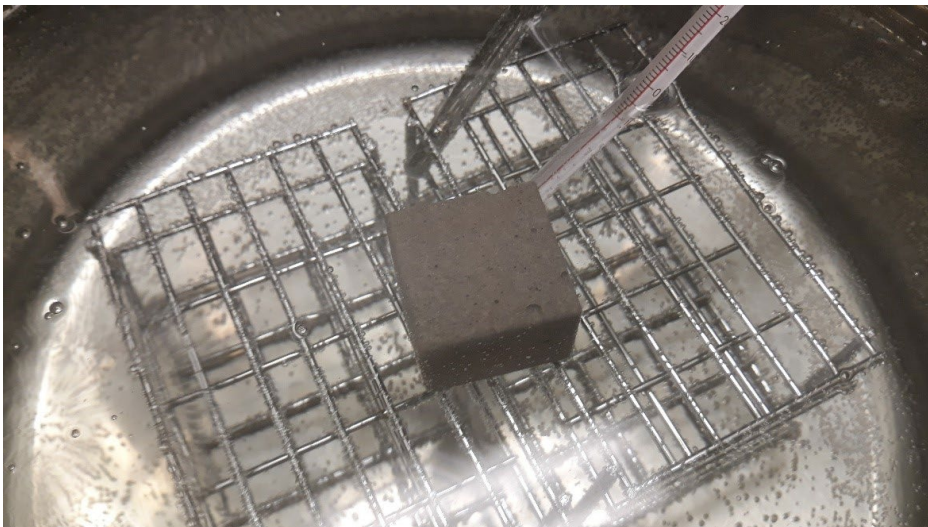
Sementin valmistaminen tuottaa kalkkikiven polttamisen seurauksena noin viisi prosenttia ihmiskunnan hiilidioksidipäästöistä ja Suomen päästöistä kaksi prosenttia (Punkki 2021). Ilmastotavoitteiden kannalta on tärkeää, että löydetään mahdollisia vähemmän ilmastoa kuormittavia korvaavia materiaaleja eri sovelluksiin. Geopolymeerien valmistamista on tutkittu viime vuosisadan puolivälistä lähtien.

Geopolymeerien valmistuksessa käytettävät lähtöaineet, kierrätysmateriaalit ja polymerointikemikaalit voivat vaihdella sovellutuskohteittain. Raaka-aineksi soveltuvat alkaleja, piitä ja alumiinia sisältävät kivimäiset materiaalit. Myös muita alkuaineita sisältävät materiaalit ovat mahdollisia, kuten rautapitoiset malmit, mutta niiden hyödyntämisessä on vielä tutkittavaa.

Hankkeessa valmistettiin jauhetusta kiertotalousmateriaalista muun muassa jätelasista geopolymeerejä. Hankkeen alkupuolella jätelasia hienonnettiin valssimurskauksella ja käytetyt jakeet erotettiin seulomalla. Myöhemmin käytettiin leukamurskaimella esikäsiteltyä ja kuulamylyllä hienoksi jauhettua lasia ja betonia. Materiaalien pinta-alaa ja reaktiivisuutta lisättiin kemiallisia reaktioita varten hienontamalla. Geopolymeerejä valmistettiin käyttäen nestefaasina vahvasti emäksisiä aluminaattiliuoksia ja vesilasia. Lisäksi käytettiin alumiinipitoisuutta lisääviä aineita sekä biotuhkia ja hiekkaa. Koekappaleita tehtiin erikoisista murskeista käyttäen, jotta selviäisi kokojakautuman vaikutus lopputulokseen. Paras reaktiivisuus saatiin käyttämällä hienojakoista raaka-ainetta. Geopolymeereista testattiin muun muassa liukoisuusominaisuuksia ja vedenkestävyyttä.

Ensimmäisissä kokeiluissa käytettyjen liuoksien havaittiin olevan liian laimeita, jolloin tehdyt koekappaleet eivät kovettuneet riittävän nopeasti. Vesilasia käytettäessä ei ollut vastaavia ongelmia. Kierrätysmateriaaleja käytettäessä täytyy geopolymeerin valmistuksessa käytettävien materiaalien ja kemikaalien seossuhteet räätälöidä juuri kyseisille ainesosille parhaiten soveltuviksi. Biopohjaisen materiaalin poltosta muodostuvaa lentotuhkaa käytettäessä geopolymeerin valmistuksessa haasteena on, että jokaisen laitoksen tuhka on erilaista niin kemiallisen koostumuksen kuin partikkelikoon osalta. Erot aiheutuvat muun muassa erilaisten poltettavien biomateriaalien käytöstä ja lentotuhkan eri talteenottomenetelmistä. Etenkin kalsiumpitoisuuden vaihtelut vaikuttavat geopolymeerin kovettumiseen.

Perinteisesti geopolymeereissä on käytetty masuunikuonaa ja metakaoliinia, joita käytetään myös sementin seosaineena. Hankkeen alkuvaiheessa valmistetut geopolymeerit vastasivat lähes pelkästä sementistä ja vedestä tehtyä laastia. Geopolymeerit osoittautuivat lujuustesteissä kestäviksi. Esimerkiksi koekappaleiden lujuus kiehuvaan veteen pitämisen jälkeenkin pysyi hyvällä tasolla (kuva 7).



KUVA 7. Geopolymeerin testikappale kuumassa vedessä (kuva Teemu Karttaavi).

KIERRÄTYSLASI KUIVABETONISSA

Betoni sisältää mineraalien sideainetta sementtiä, vettä, karkeaa ja hienoa kiviainesta sekä erilaisia lisä- ja seosaineita (Betonin valmistus s.a.). Portlandsementti on yleisin sementtityyppi. Sitä valmistetaan hienoksi jauhetusta portlandklinkkeristä, johon on lisätty sitoutumisen säätöä varten kipsiä. (Rakennustekniikan käsikirja 2 1970)

Lasijätteen sisällyttämistä betoniin murskatun rakeisen materiaalin muodossa, mineraalin korvikkeena tai jauhemaisena materiaalina portlandsementin korvikkeena on aiemmin tutkittu laajasti lasijätteen hallintaa silmällä pitäen. Kuitenkin lasin, erityisesti natronkalkkilasin rakeisena kiviaineksena, herkkyys alkalisilikaattireaktion (ASR) aiheuttamille häiriöille on ollut tärkein este sen käytön lisäämiselle betoniin. (Afshinnia & Rangaraju 2016)

Sementin tuotannossa lasijätettä voidaan käyttää myös jauhamalla portlandsementtiä yhdessä lasin kanssa tai sekoittamalla lasijauhetta sementtiin. Jälkimmäisessä tapauksessa osa sementistä korvataan lasilla. (Halbiniak & Major 2019)

Hankkeessa tutkittiin kierrätyslasia sisältävän kuivabetonin lujuusominaisuuksia ja pyrittiin tuomaan lasia esiin betonin pinnassa. Kuivabetonimassaa on valmiina saatavilla, ja siihen sekoitetaan normaalisti vain vettä (Kuivabetoni S 100 s.a.). Selvitys tehtiin opinnäytteenä kirjallisuuskatsauksen ja laboratoriokokeiden muodossa (Nivel 2021).

Erikokoista lasimurskaa sekoitettiin betonimassaan. Valmistettua massaa valettiin betonitesseissä käytettäviin särmiöihin, prismamuotteihin. Testi- ja hiontakappaleita valmistettiin tarkasteluja varten. Betonimassassa käytetyn lasin määrä selvitettiin kirjallisuusselvityksen avulla.

Kolmea eri tapausta (1, 2 ja 3) tutkittiin, jolloin niiden perusmassoja verrattiin vastaaviin massoihin, jotka sisälsivät lasimurskaa, kokoluokaltaan 2 mm, 1 mm, 0,5 mm ja < 0,5 mm lasijauhoa. Perusmassoina käytettiin harmaata S 100 kuivabetonia ja JSP 0,5 -julkisivupinnoitetta (Julkisivupinnoite JSP 0,5 s.a.). Oksidipunaista pigmenttiä lisättiin perusmassan 3 valuihin.

Kokeissa olleista massoista julkisivupinnoite reagoi paremmin hienojakoisen lasijauhon kanssa, kun taas kuivabetoni reagoi paremmin karkean lasimurskan kanssa. Kokeiden aikana havaittiin, että lasia sisältävän betonin taiputus- ja puristuslujuus heikkenivät verrokkiin eli perusmassaan nähden. Lasi voisi kuitenkin toimia täyteaineena, kunhan se ei vaikuta merkittävästi betonin lujuusominaisuuksiin.

Kuvassa 8 on valmistettuja testi- ja hiontakappaleita teräsritilöiden päällä. Vasemmalla ovat perusmassan 1 koekappaleet (3 kpl) ja oikealla massasta 3 tehty hiontakappale, jossa näkyy läpinäkyvää lasimurskaa kappaleen pinnalla. Lasijauhoa sisältävistä hiontakappaleista parhaaksi vaihtoehdoksi valittiin kuvassa 8 näkyvä oksidipunainen, massasta 3 valmistettu, 2 mm:n lasijauhoa sisältävä kappale, jossa lasijauhe antoi betonille koristeellisen pinnan.



KUVA 8. Valmistettuja testi- ja hiontakappaleita (kuva Nivell 2021).

Testausten perusteella lasia olisi paras käyttää korvikkeena sementille ja/tai kiviainekselle. Mikäli lasia sisältävästä betonista olisi saatavana enemmän kotimaista testausmateriaalia, voisivat rakennusyrietykset toteuttaa helpommin kohteita, joissa olisi betoniin sekoitettua lasia (Nivell 2021). Xamkin BIOKE-hankkeessa tehty alustava selvitys on hyvä lähtökohta kierrätyslasiin jatkotutkimukselle.

YHTEENVETO

BIOKE-hankkeessa edistettiin teollisuuden ja kiertotalousyritysten materiaalien parempaa kiertoa. Tarkoituksena oli vähentää kaatopaikoille tai muuhun loppusijoitukseen päätyvän materiaalin määrää.

Haastavia materiaaleja kartoitettiin Kymenlaaksosta ja lähimaakunnista. Alueselvitysten lisäksi tehtiin koosteraportteja muun muassa muovi-, posliini-, purkubetoni- ja tekstiilijätteistä. ELY-keskusten kautta selvisi, että tietoja haastavista materiaaleista jätelajeittain olisi saatavissa YLVA-tietokannasta kunnittain Suomen ympäristökeskuksen kautta.

BIOKE, investoinnit -hankkeessa kehitettiin Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulun ja bio- ja kiertotalouden tutkimuskeskus BioSammon materiaalihienonustekniikan tutkimusympäristöä. Hankkeessa investoitiin sekä hienonnetun materiaalin analysointitekniikkaan että materiaalien hienonnuslaitteisiin. Partikkelikokoanalysointilaitteen hankinta mahdollistaa hienojakoisen aineen partikkelikoon analysoinnin. Hienonnuslaittepuolelle hankittiin leukamurskain, leikkumylly ja kuulumylly. BioSammossa on käytössä Xamkissa kehitetty ja valmistettu suihkujauhin Loop. Jauhinta kehitettiin BIOKE-hankkeen aikana, jolloin siihen suunniteltiin ja valmistettiin uusia suutinrunkoja ja suuttimia.

Materiaalivirtojen kartoituksen ja investointien ohessa hienonnettiin muun muassa seuraavia materiaaleja: tiili, posliini, betoni, lasi ja keinokuitu. Työvaiheita olivat murskaus, murskeen jauhatus ja partikkelikokoanalyysi.

Projektissa toteutettiin pienimuotoisia käytännön kokeita hienonnetuille materiaaleille, kuten geopolymeerien valmistus ja kierrätyslasiin käyttö kuivabetonissa. Jätelasista valmistettiin geopolymeereja, jotka vastasivat sementistä tehtyjä kappaleita. Hankkeessa tutkittiin kierrätyslasiä sisältävän betonin lujuusominaisuuksia ja pyrittiin tuomaan lasin estetiikkaa esiin rappauslaastin pinnassa.

LÄHTEET

Afshinnia, K. & Rangaraju, P.R. 2016. Impact of combined use of ground glass powder and crushed glass aggregate on selected properties of Portland cement concrete. *Construction and Building Materials*.

Betonin valmistus s.a. Saatavissa: <https://www.betonitieto.fi/oppiminen/opetuksen-tukimateriaali/betonin-valmistus.html#:~:text=Betoni%20sis%C3%A4lt%C3%A4%C3%A4%20yksinkertaisimmillaan%20sementti%C3%A4%20C%20vett%C3%A4,usein%20erilaisia%20lis%C3%A4%20ja%20seosaineita> [viitattu 23.6.2022].

Deutz, P. 2020. Circular economy. *International Encyclopedia of Human Geography* (Second edition). Saatavissa: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780081022955106304>. [Viitattu 17.6.2022].

Halbiniak, J. & Major, M. 2019. The use of waste glass for cement production. 5th Annual International Workshop on Materials Science and Engineering. *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering* 585 (2019) 012008.

jetmillMFG. Jet mill working principle s.a. Saatavissa: <https://www.jetmillmfg.com/jet-mill-working-principle/> [viitattu 15.6.2022].

Julkisivupinnoite JSP 0,5 s.a. Saatavissa: <https://www.fescon.fi/tuotteet/mineraalipinnoitteet-ja-ohutrappauslaastit/80/julkisivupinnoite-jsp-0-5> [viitattu 27.6.2022].

Kaiva.fi s.a. Hienonnus kiintoaineiden lajittelu. Saatavissa: https://kaiva.fi/wp-content/uploads/2014/12/Hienonnus_Kaiva-fi.pdf [viitattu 15.6.2022].

Kurttio, K. 2012. Rikastustekniikan opettamisen kehittäminen. Ammattiopisto Lappia. Saatavissa: https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/40224/Kurttio_Kari.pdf?sequence=1&isAllowed=y [viitattu 15.6.2022].

Kuivabetoni S 100 s.a. Saatavissa: <https://lakka.fi/tuotteet/tuote/kuivabetoni-s-100/> [viitattu 15.6.2022].

Nivell, P. 2021. Tutkimus kierrätyslasin lisäämisestä kuivabetoniin. Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu. Saatavissa: https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/505157/Nivell_Patrick.pdf?sequence=2 [viitattu 18.5.2022].

Punkki, J. 2021. Betoni teknologian pyörteissä: Ajankohtaista betonitutkimuksessa meillä ja maailmalla. Aalto-yliopisto. Saatavissa: <https://betoni.com/wp-content/uploads/2021/01/Betoni-teknologian-pyörteissa-Ajankohtaista-betonitutkimuksessa-meilla-ja-maailmal-la-%E2%80%93Jouni-Punkki-professori-Aalto-yliopisto.pdf> [viitattu 29.4.2022].

Rakennustekniikan käsikirja 2: Rakennusaineet ja -tarvikkeet. 1970. Helsinki: Tammi.

Machinery Partner s.a. Types of Crushers: What You Need to Know. Saatavissa: <https://www.machinerypartner.com/blog/types-of-crushers-and-crushing-stages> [viitattu 24.8.2022].

BIOHIILI RAKENNUS- MATERIAALEISSA

Jaana Kokkonen & Tuija Korpela & Timo Loikala & Outi Tuomela & Erja Tuliniemi

Tiukentuvien hiilineutraalisuustavoitteiden myötä bio- ja kiertotalouteen tullaan panostamaan tulevaisuudessa yhä enemmän. Rakentamisessa hiilen sidontaan yksi vaihtoehto on biohiilen hyödyntäminen. Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulun Biohiili rakennusmateriaaleissa -hankkeessa etsitään vaihtoehtoja biohiilen hyödyntämiselle rakennusmateriaaleissa. Tässä julkaisussa esitellään lyhyesti hankkeen sisältö ja soveltuvan tutkimuksen pääpainoalueet.

Hanke toteutetaan Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulun Bio- ja kiertotalouden tutkimusyksikkö BioSammossa sekä yhteistyössä muiden yksiköiden ja ulkopuolisten toimijoiden kanssa. Hanketta ovat rahoittamassa päärahoittajana Euroopan aluekehitysrahasto (EAKR) Kymenlaakson liiton koordinoimana sekä EcoUp Oy ja Suomen Luonnonmaalit Oy.

JOHDANTO

Bio- ja kiertotalous Kymenlaaksossa on kytkeytynyt vahvasti metsä-, kone- ja metalliteollisuuteen sekä alkutuotantoon ja elintarviketeollisuuteen. Tulevaisuuden kehityssuuntana on edistää bio- ja kiertotalouden tutkimus- ja kehityshankkeita sekä mahdollistaa uusien kestävään kehitykseen perustuvien liiketoimintamallien syntyminen Kymenlaaksoon. Uudet innovaatiot perustuvat kestäviin raaka-aineisiin, tuotteisiin ja tuotantoon, ja niiden avulla edistetään samalla Kymenlaakson tavoitetta hiilineutraalisuudesta vuoteen 2040 mennessä.

European unionin Vihreän kehityksen ohjelma (Green Deal) ohjaa päästövähennysten lisäksi myös hiilensidontateknologioiden edistämistä ilmastotavoitteiden saavuttamiseksi. Hiilen sidontaa ja varastointia voidaan toteuttaa eri teknologioilla, ja biohiilen valmistaminen on eräs näistä keinoista.

Biohiilen käyttäminen rakennusmateriaaleissa mahdollistaa hiilen sitomisen rakennuksiin ja vaikuttaa osaltaan rakennuksen koko elinkaaren aikaisiin kasvihuonekaasupäästöihin. Lisäksi biohiilen käyttö rakennusmateriaaleissa voi vaikuttaa parantavasti sisäilman laatuun sitomalla itseensä haitallisia aineita sekä ylläpitämällä ilman kosteustasapainoa.

BIOHIILEN VAIKUTUS RAKENNUSMATERIAALEISSA

Biohiilen vaikutukset rakennusten lämmöneristävyyteen, kosteuden sitomiseen ja sisäilman laadun parantamiseen ovat hankkeen keskeisiä tarkastelukohteita. Tutkimuksessa biohiiltä lisätään laasteihin, puukuitueristeeseen ja luonnonmukaisiin materiaaleihin, kuten saveen ja ekologiisiin maaleihin, sekä yhdistetään erilaisten kasvikuituseosten kanssa. Biohiilen (kuva 1) vaikutusta rakennusmateriaalien koostumukseen ja ympäristön ominaisuuksiin tullaan tutkimaan erilaisilla kemiallisilla ja fysikaalisilla mittauksilla sekä analyyseillä kirjallisuusselvitysten lisäksi.



KUVA 1. Biohiili-hankkeen viestintä- ja markkinointikuva (kuva Eveliina Kuokkanen)

BIOHIILEN VALMISTUS JA JATKOKÄSITTELY

Bio- ja kiertotalouden tutkimusyksikkö BioSammon kuivatuslaitteisto (kuivatuslaus eli pyrolyysi) sekä jauhin-, murskaus- ja seulalaitteistot ovat merkittävässä osassa biohiilen raaka-aineiden, valmistusmenetelmien ja käsittelytapojen optimoinnissa. Biohiiltä valmistetaan erilaisista biomassoista hapettomassa pyrolyysissä (kuumennuslämpötila noin 300–800 °C). Kuvassa 2 on BioSammon pyrolyysilaitteisto.



KUVA 2. BioSammon pyrolyysilaitteisto (kuva Timo Loikala)

Valmis biohiili on hiilipitoista, kevyttä ja erittäin huokoista. Biohiilen ominaisuuksiin voidaan vaikuttaa edelleen aktivoinnilla. Biohiilen ominaisuuksiin voidaan vaikuttaa merkittävästi raaka-aineen laadun ja valmistusprosessien, erityisesti aktivoinnin avulla. Kuvassa 3 on BioSammon aktivointiuuni PT-1200TX.



KUVA 3. BioSammon aktivointiuuni PT-1200TX (kuva Timo Loikala)

Vertailumateriaalina tutkimuksissa tullaan käyttämään kaupallisia biohiiliä, joiden kemiallisista ja fysikaalisista ominaisuuksista on saatavilla tutkimustietoa. Taulukossa 1 on esitetty hankkeessa tutkittavat biohiilityypit ja niiden valmistuslämpötilat.

TAULUKKO 1. Tutkittavat biohiilimateriaalit ja niiden valmistuslämpötilat

| Materiaali | Lämpötila |
|----------------------|-----------|
| Kuusi | 420 °C |
| Paju | 420 °C |
| Hamppu | 420 °C |
| Kuusi aktivoitu | 600 °C |
| Paju aktivoitu | 600 °C |
| Kaupallinen biohiili | 600 °C |

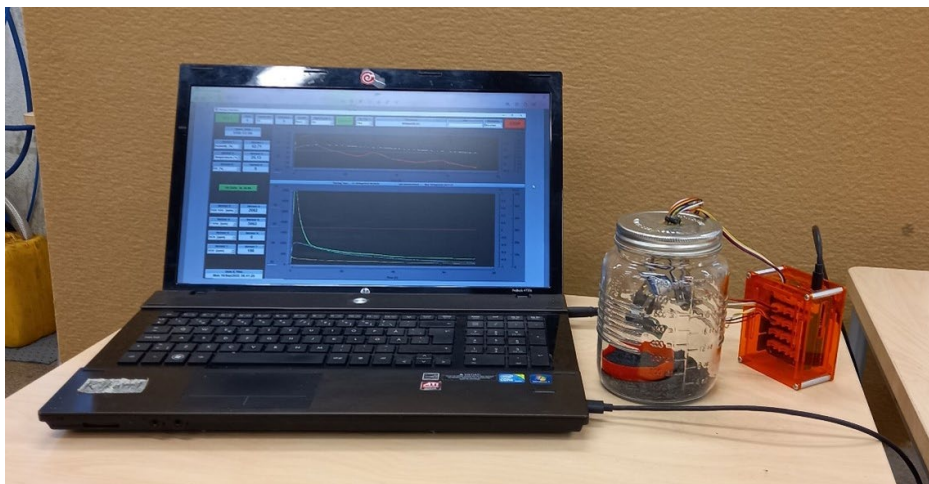
BIOHIILI MAALI- JA LAASTISEOKSISSA

BioSammossa tutkittavat maali- ja laastiseokset valmistetaan käyttämällä eri määriä ja laatuja biohiiltä seoksissa. Tutkimuksen alla ovat erilaiset luonnonmukaiset raaka-aineet ja seokset, esimerkiksi biohiili-savi-kuitu-massat, ja niiden vaikutus huoneilman laatuun. Sideaineena käytetään muun muassa erilaisia luonnonsavia, ja lisäksi käytössä on myös kaupallista savijauhoa. Kestävässä rakentamisessa on tärkeää, että kaikki materiaalit ovat biohajoavia, joten materiaalitutkimuksessa tutkitaan eri biohiililaatujen lisäksi myös erilaisia luonnonkuituja. Näitä ovat esimerkiksi kuituhamppu ja järviruoko. Kuvassa 4 on vasemmalla laastitestausta, joita on valmistettu savi-kuitumassoista sekä käyttämällä erilaisia biohiililaatuja ja -määriä. Kuvassa 4 oikealla on biohiilipohjaisen maalin tarttuvuustestausta, jossa biohiililaastin päälle on maalattu biohiilipohjaisella sekä öljypohjaisella maalilla.



KUVA 4. Biohiililaastiseosnäytteitä ja biohiilimaalin tarttuvuuskoetta (kuvat Outi Tuomela)

Valmistettavien materiaaliseosten vaikutusta sisäilman laatuun arvioidaan mittaamalla näytteistä TVOC- (haihtuvien orgaanisten yhdisteiden kokonaispitoisuus) ja CO₂-pitoisuutta. Hankkeen yhtenä yhteistyökumppanina toimiva Aalto-yliopisto on kehittänyt (kuva 5) TVOC-mittauslaitteiston. Laitteiston antureilla voidaan määrittää reaaliaikaisesti mittauskammiossa erilaisista näytteistä TVOC- ja CO₂-pitoisuutta ja niiden muutoksia ajan funktiona sekä seurata mittauksen aikana mittausastian lämpötilaa ja kosteuspitoisuutta.



KUVA 5. TVOC-mittauslaitteisto (kuva Timo Loikala)

BIOHIILI BETONISSA JA TIILESSÄ

Biohiilen suotuista vaikutusta betonin tai betoninkaltaisen materiaalin ja tiilen ominaisuuksiin voidaan arvioida määrittämällä koekappaleiden kestävyysominaisuuksia, lämmönjohtavuutta ja veden absorptiokykyä. Sementin korvaajana biohiili keventää betonisia rakenteita sekä parantaa niiden lämmön- ja ääneneristävyyttä. Lisäksi arvioidaan mittauksin muun muassa betonin värjäytyvyyttä ja biohiiltä sisältävien tuotteiden vaikutusta ympäröivän tilan ilmanlaatuun ja kosteustasapainoon.

Biohiilitiilen valmistuksessa voidaan tehdä yhteistyötä tiilen valmistajan kanssa ja toteuttaa muun muassa tiilen polttotestejä. Samalla arvioidaan biohiilen vaikutusta vedenimukykyyn ja toimimiseen kosteudensäätäjänä rakennusmateriaaleissa. Lisäksi tutkitaan biohiiltä sisältävien tiilien ja laattojen eristyskykyä, keveyttä, kovuutta ja veden absorptiokykyä verrattuna tavallisiin tiilimateriaaleihin.

BIOHIILI ERISTEMATERIAALEISSA

Biohiilen vaikutusta eristemateriaalin ominaisuuksiin arvioidaan määrittämällä näytekappaleista muun muassa lämmönjohtavuutta. BioSammon tutkimusyksikössä valmistetuille biohiilille tullaan tekemään paloturvallisuusselvitys tutkimalla biohiilien syttymisherkkyyttä ja palo-ominaisuuksia BioSammassa kuin myös ostopalveluna. Vastaavaa tutkimusta ei ole Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulun biohiileen liittyvissä hankkeissa aiemmin tehty.

Tarkasteltavaksi eristemateriaaliksi on valittu puukuituaines, joka on yleisnimitys puupohjaiselle lämmöneristeelle. Erilaiset raaka-aineet ja valmistustapa jakavat puukuitueristeet

markkinoilla oleviin tuotteisiin. Yleisimmät raaka-aineet ovat puuteollisuuden sivuvirtojen puukuitu ja kierrätyspaperista lähes 90-prosenttisesti valmistettava selluvilla. Biohiilen lisääminen rakennusten eristemateriaalin (kuva 6) saattaa mahdollisesti laskea rakennusten lämmityksestä sekä jäähdytyksestä syntyviä kuluja sekä vaikuttaa merkittävästi kosteus- ja sisäilmaongelmiin.



KUVA 6. Selluvillabiohiilinäyte (kuva Jaana Kokkonen)

TULEVAISUUDEN BIOHIILIRAKENNUSMATERIAALIT

Tässä artikkelissa on tuotu esille soveltavan tutkimuksen sisältöjä biohiilen käytöstä rakennusmateriaaleissa. Hankkeen ensimmäisen toteutusvuoden aikana on aloitettu testausta, joista on saatu lupaavia tuloksia. Tutkimustyötä jatketaan ja tulokset julkaistaan vuoden 2023 aikana.

Tulevaisuudessa kiertotalouden merkitys korostuu entisestään. Biohiili rakennusmateriaaleissa -hankkeen tuloksena löydetään biohiilelle uusia käyttökohteita rakennusteollisuudessa sekä hyödynnetään ja kehitetään edelleen Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulun Bio- ja kiertotalouden tutkimusyksikkö BioSammon tutkimus- ja laitekantaa vastaamaan Kymenlaakson älykkään erikoistumisen strategian (ÄES 2.0) tavoitetta.

VÄHÄHIILINEN BETONI

Elli Tykkä & Tiina Kaprio

BECO – Betonin rooli hiilineutraalissa yhteiskunnassa -hankkeen päätavoitteena oli edistää rakennetun ympäristön ja erityisesti betonirakentamisen vähähiilisyuden kehittymistä. Tutkimuksen tavoitteena oli parantaa betonin lujuusominaisuuksia sitomalla siihen hiilidioksidia. Tämä edistäisi betonirakentamisen hiilijalanjäljen pienentämistä kahdella tapaa: talteenoton ja hyötykäytön lisäksi sementin määrää betonissa voitaisiin vähentää. Mitä vähemmän sementtiä tarvitsee käyttää, sitä vähemmän sitä tarvitsee valmistaa. Hankkeessa vertailtiin hiilidioksidille altistetun ja standardin mukaisesti jälkihoidetun betonin ominaisuuksia.

KOHTI HIILINEUTRAALIA YHTEISKUNTAA

Hiilineutraalius on mahdollista tavoittaa joko korvaamalla prosessin päästöt sitomalla päästöjä vastaava määrä hiiltä ilmakehästä tai siirtymällä kokonaan päästöttömään tekniikkaan (Savikko ym. 2019, i). ”Hiilineutraaliuden saavuttamisen kannalta keskeistä onkin löytää keinokokonaisuuksia, joilla voidaan sekä vähentää päästöjä että kasvattaa hiilinielujä”, todetaan Hiilineutraali Kymenlaakso 2040 -tiekartassa (Savikko ym. 2019, 19). BECO-hankkeella otettiin askel kohti tähän tarpeeseen vastaamista. Hankkeen tavoitteena oli luoda prosessi, jossa talteenotettu hiilidioksidi hyötykäytetään sitomalla se betoniin jo ennen sen lopullisen lujuuden saavuttamista.

Rakennettu ympäristö on yksi merkittävimpiä CO₂-päästöjen tuottajia, joten sen merkitys hiilineutraalin yhteiskunnan tavoittelemisessa on suuri. Betonirakentaminen on ympäristölle kuormittavaa erityisesti johtuen betonin pääraaka-aineen, sementin, valmistukseen vaadittavasta energiasta ja siinä vapautuvasta hiilidioksidista. Arviolta puolet sementinvalmistuksen hiilidioksidipäästöistä muodostuu hajoavasta kalkkikivestä. Loput hiilidioksidipäästöistä muodostuvat raaka-aineen polttamiseen käytettävästä polttoaineesta. (Pisto 2016, 2) Suomessa käytettiin vuonna 2018 sementtiä lähes kaksi megatonnia, ja sen valmistuksesta aiheutuneet hiilidioksidipäästöt olivat 0,9 Mt (Energiavirasto 2020).

Rakennuskohteiden kasvihuonepäästöjen rajoittamiselle asetetut vaatimukset ovat kiristyneet ankarasti. Vaatimukset tulevat kiristymään yhä enemmän lainsäädännön sekä erilaisten velvollisuuksien myötä. (Härkönen 2021, 1.) Kasvihuonepäästöjen vähentämiseksi on jo tehty paljon toimenpiteitä. Kasvattamalla muun muassa rauta- ja terästeollisuudesta ylijäävän masuunikuonan hyödyntämistä sementin seosaineena on mahdollista pienentää kasvihuonekaasupäästöjä (Pisto 2016, 1). Toinen käytetty sementtiä korvaava seosaine on esimerkiksi lentotuhka, jota syntyy kivihiilen poltosta (Pisto 2016, 2). Suuri osa betoni-

rakentamisen päästöistä syntyy energiankäytöstä, ja energiatehokkuuteen ja uusiutuviin energialähteisiin keskittymällä on tehty mittavia päästövähennyksiä. Myös vaihtoehtoiset sideaineet ja kierrätysraaka-aineet edistävät hiili-intensiivisyyden vähentämistä. Iso merkitys on myös hyvällä suunnittelulla: rakennetaan vain tarpeeseen mahdollisimman pitkäikäisiä ja muunneltavia rakennuksia. Tarve parantamiselle on silti edelleen suuri. Betonirakentamista ei ole kuitenkaan tarpeen alkaa välttelemään, sillä betonilla on monia hyviä ominaisuuksia. Betoni on lujaa ja kestävä, sen raaka-aineet ovat edullisia ja helposti saatavia ja se on helposti muotoiltavissa (J. Koskenmäki Oy 2020). Betonirakentamisesta on siis syytä kehittää entistä vihreämpää.

HIILIDIOKSIDIN SITOMINEN BETONIIN

Hankkeen alussa oli kaksi eri tutkimuslinjaa. Betonin hiilidioksidikovetusta on tutkittu altistamalla valmiita, jo lujittuneita betonikappaleita hiilidioksidiille säilytysolosuhteessa, jonne on luotu painetta. Tällä tutkimusmenetelmällä on saatu kansainvälisestäkin tuloksia siitä, että betonin lujuusominaisuudet paranevat. Suomessa tutkimusta on tehnyt muun muassa VTT (Mäkikouri ym. 2021). BECO-hankkeessa kuitenkin valittiin päätutkimuslinjaksi hiilidioksidin syöttö tuoreeseen betonimassaan, sillä se palvelee betoniteollisuutta paremmin. Ensin mainittua on käytännössä mahdotonta toteuttaa betonielementtitehtaalla, koska betoniset rakenneosat pitäisi kovettaa paineistetussa tilassa. Tämä vaatisi yrityksiltä todella mittavia investointeja, eikä sen kannattavuus ole kovin todennäköistä. Valmisbetonin tuotannossa tämä menettely olisi käytännössä mahdotonta.

Ensimmäiset kokeet hankkeen aikana tehtiin valamalla betonista koekuutioita. Hiilidioksidilla pyrittiin kovettamaan jo muotista purettuja kappaleita. Kovettavat kappaleet siirrettiin muotista purun jälkeen vertailtaviin säilytysolosuhteisiin, joissa oli hiilidioksidia eri muuttujilla. Osa kappaleista säilytettiin muotista purkamisen jälkeen 48 tuntia stabiilissa kahden baarin paineessa hiilidioksidipitoisuuden ollessa lähes sata prosenttia. Osa kappaleista oli laboratorio-olosuhteisiin (20 ± 2 °C, RH 65 ± 5 %) sijoitettuna tiiviissä muovilaatikossa, johon syötettiin hiilidioksidia tietyin väliajoin laatikon kanteen tehtyjen läpivientien kautta. Koekappaleita säilytettiin myös +20 °C:n vedessä, jonne uutettiin hiilidioksidia jatkuvalla syötöllä 48 tuntia. Vertailussa oli mukana myös standardin mukaisesti vedessä säilytettyjä koekappaleita ja kappaleita, jotka säilytettiin laboratorio-olosuhteissa.

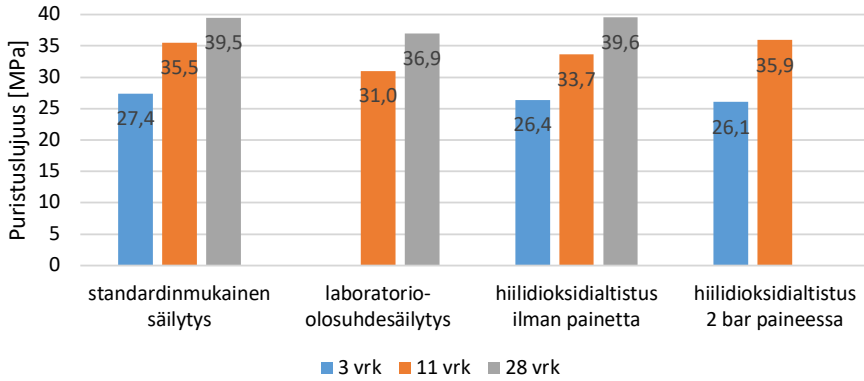
Hiilidioksidikovetuksen jälkeen kappaleista määritettiin niiden puristuslujuus ja karbonatisoitumissyvyys. Oletettua oli, että etenkin paineenalainen hiilidioksidikovetus tuottaisi koekappaleisiin syvemmän karbonatisoitumisrintaman. Suurin vaikutus paineella ja suurella hiilidioksidipitoisuudella olikin betonin karbonatisoitumiseen. Hiilidioksidi oli tunkeutunut koekappaleen sisään siten, ettei se ollut reagoinut tasaisesti betonin kanssa (kuva 1). Muissa hiilidioksidikovetuksen variaatioissa ei karbonatisoitumista ollut tapahtunut, vaan betoni oli pysynyt pinnastaankin samalla tavoin emäksisenä kuin standardin mukaisesti säilytettynä. Karbonatisoitumissyvyys määritettiin fenoliftaleiinihuosta indikaattorina käyttäen.



KUVA 1. Karbonatisoituminen paineessa altistetun koekappaleen poikkileikkauspinnalla (kuva Elli Tykkä).

Tutkimuksessa havaittiin hiilidioksidikovettamisella olevan positiivista vaikutusta puristuslujuuteen (kuva 2). Koekappaleet kuormitettiin 3, 11 ja 28 päivän ikäisinä. Varhaislujuus kehittyi kuitenkin parhaiten standardin mukaisesti vedessä kovetetuilla kappaleilla. Betonin kovettuminen tapahtuu sementin hydrataatioreaktion seurauksena. Reaktio tarvitsee vettä, ja vedessä lujittuvilla koekappaleilla hydrataatioreaktio on täydellisin. Paineessa olleet kappaleet kestivät keskimäärin saman verran kuormitusta kuin vedessä kovetetut 11 vuorokauden iässä. Laboratorio-olosuhteissa säilytetyt kappaleet olivat hieman heikompia kuin tiiviissä muovilaatikossa säilytetyt. Tästä tuloksesta on varminta päätellä hiilidioksidin lujittava vaikutus.

Betonin keskimääräinen puristuslujuus suhteessa koekappaleen kuormitusikään ja hiilidioksidialtistukseen



KUVA 2. Betonin puristuslujuus eri-ikäisillä ja eri hiilidioksidiolosuhteissa kovetetuilla koekappaleilla (kuva Elli Tykkä).

Vaikka tutkimuksella saatiin lupaavia suuntaa antavia tuloksia, tutkintalinjaa vaihdettiin. Menetelmä osoittautui jo laboratoriomittakaavassa hankalaksi eikä ole helposti vietävissä suuremman mittakaavan toimintaan. Tutkimuksen ongelmaksi osoittautui myös reseptiikka. Koekappaleiden hiilidioksidialtistus tulisi aloittaa varhaisen lujittumisen aikana, mutta tutkimuksen kappaleet eivät olleet tarpeeksi lujia muotista purettaviksi. Käytössä olleella reseptillä oli siis mahdotonta aloittaa hiilidioksidikovetus riittävän ajoissa aiempien tutkimustulosten valossa, jotta siitä olisi merkittävää hyötyä. Lisäksi koekappalemäärät olivat pieniä, eikä niistä voi vetää luotettavia johtopäätöksiä.

Hankkeen päätutkimuslinjaksi valikoitui hiilidioksidin sekoittaminen tuoreen massan sekaan. Ajatus sai kannatusta yritys yhteistyökumppaneilta sen toteutettavuuden vuoksi. Ajatuksena tutkimuksessa on saada hiilidioksidi sitoutumaan betoniin sen ollessa plastisessa vaiheessa ja reagoimaan muodostaen kalsiumkarbonaatteja. Tuloksena betonin lujuusominaisuudet paranevat. Menetelmän on todettu olevan käyttökelpoinen teollisessakin mittakaavassa, ja se on jo kaupallisessa käytössä Pohjois-Amerikassa (CarbonCure 2022). Hanketutkimuksen tavoite poikkeaa kuitenkin jo olemassa olevasta menetelmästä siinä, että hiilidioksidi syötetään tuoreeseen massaansa kaasumuodossa. Jo olemassa olevassa sovellutuksessa se lisätään massan sekaan kiinteänä. Tämä vaatii monimutkaisemman laitteiston ja näin ollen suuren investoinnin betonin valmistajalta. Kaasuna hiilidioksidin annostelu olisi huomattavasti yksinkertaisempaa ja helpompaa toteuttaa.

Kaasumuotoisen hiilidioksidin syöttö osoittautui kuitenkin heti tutkimuksen alussa haasteeksi. Koska kaasun pinta-ala on kiinteää olomuotoa suurempi ja reaktio tapahtuu nopeammin, massa jäähmettyi jo sekoittamisen aikana. Kun hiilidioksidi annostellaan jäisenä, sen reaktio tapahtuu vähitellen kiinteän aineen muuttaessa muotoaan. Kun hiilidioksidikaasua lisättiin sekoittimeen liian suuri määrä, betonimassa menetti notkeutensa ja oli käytännössä käyttökelvotonta. Mitä suurempi määrä kaasua sekoitettiin massaan, sitä suuremmaksi viskositeetti muuttui. Betonimassaan sekoitettavan hiilidioksidin määrä on siten pidettävä maltillisena. Kun hiilidioksidia lisätään kolme prosenttia käytetyn sementin painosta, massa on vielä työstettävissä. Mutta kun painoprosentti on lähellä kymmentä, reaktio nopeutuu voimakkaasti ja tuore betoni alkaa kehittää lämpöä runsaasti. Massa muuttuu kuivaksi, eikä sitä enää voi työstää (kuva 3).



KUVA 3. Tuore betonimassa sekoittimessa, kun hiilidioksidikaasua on lisätty 10 p.-% massaan käytetyn sementin painosta (kuva Elli Tykkä).

Ominaisuuksiltaan käytettäväksi soveltuvasta hiilidioksidille altistetusta massasta valmistettiin koekappaleita, jotka säilytettiin standardin mukaisesti vedessä testaukseen asti. Kappaleista testattiin puristuslujuus 28 vuorokauden iässä ja jäädytys–sulatuskestävyys suoralla pakkaskokeella. Vertailumassana oli samoilla seossuhteilla valmistettu massa ilman hiilidioksidia. Koska tutkimuksen toteutusaika oli verrattain lyhyt, valittiin kovettuneesta betonista testattavaksi vain merkittäviä ominaisuuksia Suomen olosuhteissa.

TULOKSET

Tutkimustulokset ovat merkittäviä. Selkeitä johtopäätöksiä niistä ei kuitenkaan voi vetää tutkimuksen suppeuden vuoksi. Koekappalemäärät olivat pieniä ja muuttujia paljon. Suurimmat muuttujat pyrittiin minimoimaan, mutta betonia valmistettaessa myös pienet asiat voivat olla merkityksellisiä. Esimerkiksi sekoitusaika, runkoaineuksen kosteuspitoisuuden vaihtelu tai tiivistämistapa voi vaikuttaa huomattavasti betonin lujuuteen. Koska hiilidioksidin sitoutumisen todellista määrää ei validoitu, on prosessi itsessään suurin epävarmuustekijä.

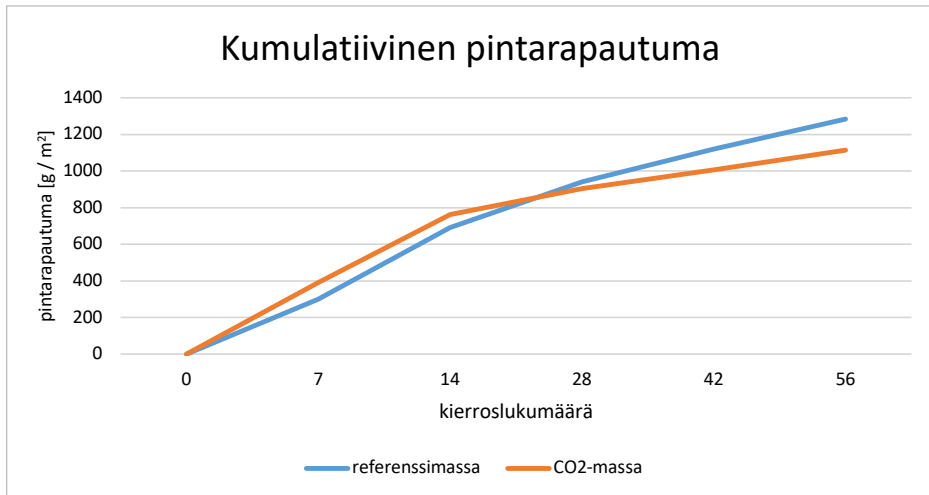
Hiilidioksidilla näyttäisi olevan positiivinen vaikutus puristuslujuuteen. Koekappaleiden varhaislujuus kehittyi hieman nopeammin plastisessa vaiheessa karbonatoiduilla kappaleilla (taulukko 1). Tämä on merkittävää teollisuuden näkökulmasta, sillä valumuotit tulee pystyä purkamaan valun ympäriltä kohtuullisessa ajassa. Kuten taulukosta 1 ilmenee, hiilidioksidilla käsitellyt kappaleet ovat myöhemmässä kuormitusiässä lujempia kuin referenssimassasta valmistetut kappaleet. Koekappalemäärät olivat kuitenkin pieniä ja epävarmuus sen vuoksi suuri.

TAULUKKO 1. Koekappaleiden keskimääräinen puristuslujuus ja tiheys kolmen ja 28 vuorokauden iässä.

| | kuormitus 3 vuorokauden iässä | | kuormitus 28 vuorokauden iässä | |
|------------------------|-------------------------------|-----------------------------|--------------------------------|-----------------------------|
| | puristuslujuus [MPa] | tiheys [kg/m ³] | puristuslujuus [MPa] | tiheys [kg/m ³] |
| referenssimassa | 28,7 | 2 340 | 52,2 | 2 360 |
| CO ₂ -massa | 32,3 | 2 360 | 54,0 | 2 370 |

Puristuslujuuden lisäksi kiinnostava ominaisuus tutkimuksessa oli betonin pakkasenkestävyys. Tämä selvitettiin suoralla pakkaskokeella eli niin sanotulla laattakokeella. Laattakokeessa koekappaleita altistetaan sykleittäin jäätymiselle ja sulamiselle pinnallaan väliaineena joko vettä tai suolaliuosta. Jäädytys–sulatussykliä välissä kappaleiden pinnalta rapsutetaan pakkasrasituksen irrottama materiaali, joka punnitaan, ja tulos ilmoitetaan kumulatiivisesti. Laattakokeet tehtiin sekä referenssimassasta että hiilidioksidille altistetusta massasta. Laattakokeiden tuloksista pystyy toteamaan betonin pakkasenkestävyyden. Hiilidioksidin oletetaan tiivistävän betonin mikrorakennetta muodostuvien kalsiumkarbonaattien johdosta (Kähkönen 2019, 16). Tämä perustelisi hiilidioksidille altistetun massan paremman pakkasenkestävyyden. Hiilidioksidille altistetusta massasta valmistetut kappaleet näyttävät pakkasenkesto-ominaisuuden osalta pärjäävän verrokkejaan paremmin (kuva 4). Vaikka testin alkupuolella referenssimassasta valmistettujen koekappaleiden pinnalta irtoaa mate-

riaalia vähemmän, 14 syklin jälkeen referenssikappeleiden kumulatiivinen pintarapautuma on suurempaa. Tulos tukee mahdollisuutta käyttää hiilidioksidille altistettua massaa myös betonivaluissa, joiden käyttöpaikka on ulkona.



KUVA 4. Referenssimassan ja CO2-massan kumulatiiviset pintarapautumat grammoina neliömetrille 56 jäädytys-sulatussyklin aikana (kuva Elli Tykkä).

Koska tutkimuksen laajuus oli suppea, lisätutkimuksille on tarvetta. Betonin vähähiilisyyden parantamiseksi on monia keinoja, joiden yhteisvaikutusta hiilidioksidikovettamisen kanssa tulee tutkia. Näitä ovat muun muassa vähemmän ympäristöä kuormittavien sideainesten käyttö sementin korvikkeena, runkoaineiden optimointi ja uusiokiviaineksen käyttö. Nämä kaikki voidaan yhdistää, jolloin betonin hiilijalanjälki pienenee huomattavasti.

LÄHTEET

CarbonCure. 2022. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.carboncure.com/technologies/> [viitattu 10.5.2022].

Energiavirasto. 2020. Suomen päästökauppasektorin laitosten päästöt pienenivät 3,0 miljoonaa tonnia vuonna 2019. WWW-dokumentti. Saatavissa: https://energiavirasto.fi/tiedote/-/asset_publisher/suomen-paastokauppasektorin-laitosten-paastot-pienenivat-3-0-miljoonaa-tonnia-vuonna-2019 [viitattu 23.3.2022].

Härkönen, T. 2021. Vähähiilinen betoni toimii erinomaisesti isossakin kohteessa. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://kivifaktaa.fi/vahahiilinen-betoni-toimii-erinomaisesti-isossakin-kohteessa/> [viitattu 29.6.2022].

J. Koskenmäki Oy. 2020. Betonin ympäristövaikutukset. Blogi. Saatavissa: <https://www.jkoskenmaki.fi/l/betonin-ymparistovaikutukset/> [viitattu 23.3.2022].

Kähkönen, M. 2019. Betonin vedenpaineeneristys kristallisoivilla lisäaineilla. Tampereen yliopisto. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://trepo.tuni.fi/bitstream/handle/10024/115678/Kahkonen.pdf?sequence=2&isAllowed=y> [viitattu 10.5.2022].

Mäkikouri, S., Korpijärvi, K., Vares, S. & Papakonstantinou, N. 2021. The Carbon Dioxide Emissions Reduction Potential of Carbon-Dioxide-Cured Alternative Binder Concrete. WWW-dokumentti. Saatavissa: <http://www.lidsen.com/journals/rpm/rpm-03-02-018> [viitattu 14.9.2022].

Pisto, V. 2016. Betoni vaihtuu Suomessa vihreäksi – voi muuttaa koko rakentavan maailman. WWW-dokumentti. Päivitetty 30.6.2016. Saatavissa: <https://yle.fi/uutiset/3-8991704> [viitattu 28.6.2022].

Savikko, H., Hokkanen, J., Koutonen, H., Haanpää, E. & Kymenlaakson liitto. 2019. Hiilineutraali Kymenlaakso 2040 - Kasvihuonekaasupäästöt, hiilinielut ja tiekartta vuoteen 2040. PDF-dokumentti. Saatavissa: https://www.kymenlaakso.fi/images/Liitteet/ALUEKEHITYS/Hiilineutraali2040/Hiilineutraali_Kymenlaakso_2040_Tiekartta_mkvalt_joulu_2019.pdf [viitattu 28.6.2022].

PÄÄSTÖVÄHENNYSMENETELMIEN SUORITUSKYVYN MITTAUKSET TODELLISISSA OLOSUHTEISSA ITÄMERELLÄ

Elias Altarriba & Sirpa Rahiala & Marko Piispa & Taru Tanhuanpää

MEPTEK-hankkeessa tavoitteena on vertailla päästövähennystekniikoiden tehokkuutta, ominaisuuksia ja kustannuksia erilaisten menetelmien, kuten alusten päästömittausten, Bayes-analyysin sekä elinkaarianalyysin, avulla. Tarkoituksena on tuottaa tietoa merialan sidosryhmille päätöksentekoa varten. Hankkeessa tehtävien alusten päästömittausten avulla voidaan todentaa eri menetelmien tehokkuutta todellisissa merenkulun olosuhteissa Itämerellä. Todelliset olosuhteet kuitenkin usein poikkeavat sertifiointiolosuhteista, jolloin toimitaan määrättyillä kuormituksilla ja hyvin säädetyillä järjestelmillä. Hanke toteutetaan Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulun (Xamk) Metsä, ympäristö ja energia -vahvuusalan ja Logistiikka ja merenkulku -vahvuusalan yhteistyönä. Hankkeen päärahoittajana toimii Kymenlaakson liiton hallinnoima Euroopan aluekehitysrahasto (EAKR). Hanke päättyy 31.12.2022.

JOHDANTO

Meriliikenteen päästövähennystekniikoiden vertailu (MEPTEK) -hankkeessa yhtenä pää-tavoitteena on saada mittausdataa käytössä olevien päästövähennystekniikoiden todellisesta tehokkuudesta ja luoda kokonaiskuvaava päästövähennystekniikoiden eroista Itämerellä. Itämeren alueella on nykyisellään voimassa maailman tiukimmat ilmapäästörajoitukset sekä rikki- että typpipäästöjen osalta. Esimerkiksi Itämeri kuuluu alueeseen, jossa rikkipitoisuus polttoaineessa saa olla enintään 0,1 prosenttia, ja typpioksidipäästöjen osalta vuoden 2016 jälkeen rakennetuille aluksille tuli voimaan tiukin TIER III -rajoitus vuoden 2021 alusta. Rajoitukset voidaan täyttää joko käyttämällä vähärikkistä polttoainetta (MGO tai MDO) raskaan polttoöljyn sijaan tai lisäämällä alukseen rikkipesuri. NO_x-rajoituksiin tarvitaan usein selektiivinen katalyyttinen pelkistys (SCR) -tekniikka, mutta Itämerellä on tällä hetkellä käytössä myös pakokaasujen kierrätys (EGR), kosteailmamoottorit (HAM) ja suora vesiruisikutus (DWI). LNG-alus usein täyttää molemmat vaatimukset ilman erillisiä päästövähennysmenetelmiä.

Hankkeen aikana meriliikenteen päästövähennystavoitteet ovat kiihtyneet Euroopan komission julkistaessa heinäkuussa 2021 ”Fit for 55” toimenpideohjelman. Ohjelma sisältää omat tavoitteet meriliikenteelle, jotka on kuvattu erillisessä FuelEUMaritime-ohjelmassa. Siinä on esimerkiksi asetettu tavoitteet kasvihuonekaasujen vähentämiseksi ja ehdotettu meriliikenteen sisällyttäminen nykyisen päästökaupan piiriin. FuelEUMaritime-ohjelman odotetaan tulevan äänestykseen parlamentissa näillä näkymin syksyllä 2022. Fit for 55 -keskusteluissa merenkulun suhteen on noussut esille muun muassa kasvihuonekaasujen alentamistavoitteet, joita osa tahoista haluaisi kiristää entisestään etenkin lähivuosille. Myös Suomelle tärkeä talvimerenkulku on noussut esiin FuelEUMaritimesta neuvoteltaessa, sillä sitä ei ole huomioitu lainkaan alkuperäisessä ehdotuksessa. (FuelEU Maritime 2021)

Myös suuret polttoaineiden hintojen vaihtelut ovat aiheuttaneet vuoden 2022 aikana suurta epävarmuutta päästövähennysmenetelmien kannattavuuden ennustamiseen. Esimerkiksi LNG:n hinta on käynyt tasolla, joka on monikertainen jopa verrattuna hintaskaarioihin, joissa polttoaineiden hinnat kallistuisivat merkittävästi vuoteen 2030 mennessä. Tämä tekee aiemmin vähäpäästöisenä ja kustannustehokkaana pidetyn LNG-vaihtoehdon kannattavuuden arvioinnista erittäin haastavaa. Lisäksi LNG:n metaanivuodot ovat olleet keskusteluissa viime aikoina. Meriliikenteen toimintaympäristö on siis ollut suurten muutosten ympäröimänä viime vuosina, ja muutosten odotetaan vain kiihtyvän.

Itämeri on monilta osin ainutlaatuinen toimintaympäristö meriliikenteelle. Aiemmin mainitut SECA- ja NECA-päästörajoitusalueet ovat voimassa Itämerellä. Samaan aikaan olosuhteet ovat usein haastavat ja laivojen polttoaineen kulutusta nostavat, kuten pitkä talvi. Myös runsas saaristo Suomen ja Ruotsin välillä aiheuttaa sen, että laivan kuormitusprofiilit ovat hyvin epätasaisia verrattuna esimerkiksi valtameriliikenteeseen. Alueella liikennöi paljon RORO-tyyppisiä aluksia, joiden polttoaineenkulutus on usein korkea.

Nämä kaikki tekijät aiheuttavat sen, että päästövähennysmenetelmien todellista tehokkuutta ja kannattavuutta arviointia varten tarvitaan mittausdataa, joka vastaa paremmin Itämeren olosuhteita. Kirjallisuudessa on jo paljon tietoa päästövähennysmenetelmien tehokkuudesta, niiden vaikutuksesta laivojen polttoaineen kulutukseen sekä laivojen ominaiskulutuksista (esim. Fourth IMO GHG Study 2020), mutta olosuhteiden vaikutus ja vaihtelu eivät välttämättä ole täysin mukana kirjallisuusarvioissa. Erityisesti LNG-laivojen metaanipäästöjen osalta on havaittu suurta hajontaa.

Päästövähennysmenetelmien vertailun tueksi tarvitaan luotettavaa ja puolueetonta mittausdataa. Xamkin KymiLabs-tutkimusyksikkö on suorittanut jo pitkään alusten päästömittauksia, ja kyseiset mittaukset ovatkin ensimmäisiä, joita yksikön 30-vuotisen historian aikana on päästömittausten osalta tehty. Tutkimusyksikön akkreditoinnin pätevyysalue kattaa myös kyseiset mittaukset. KymiLabs on FINAS-akkreditointipalvelun akkreditoima testauslaboratorio T197 / SFS-EN ISO/IEC 17025, ja akkreditoitu pätevyysalue on näh-

tävissä FINASin verkkosivuilla. Yksikkö on osallistunut lukuisiin tutkimushankkeisiin, joissa on kehitetty puhtaampaa meriliikennettä, sekä tehnyt satoja kaupallisia mittauksia esimerkiksi Clean ship index -luokittelua varten.

MEPTEK-hankkeen aikana KymiLabs toteutti onnistuneesti mittausmatkoja, joiden avulla saatiin ainutlaatuisia mittausdataa päästöjen vähentämismenetelmien kokonaisvaltaista arviointia varten. Dataa hyödynnetään sekä Bayes-analyysissä että elinkaarilaskennassa, joiden avulla luodaan päästövähennysmenetelmien vertailua varten arvio sekä taloudellisten että ekologisten vaikutusten kannalta.

MITTAUSKOHTEET JA -JÄRJESTELYT

Mittausmatkoja suoritettiin yhteensä kolme kappaletta. Matkojen ajankohdat ja reitit on esitetty taulukossa 1. Etenkin Tallinnan reittiä alus kuitenkin seilasi useita kertoja, joten todellisia merimatkoja satamakäynteineen kertyi huomattavasti enemmän. Alun perin suunnitelmissa oli tehdä hankkeen tiimoilta ainakin kymmenen mittausmatkaa, mutta COVID-19-pandemia mahdollisti mittauksen tekemisen vasta hankkeen ollessa jo loppusuoralla kesäkaudella 2022.

TAULUKKO 1. Suoritetut mittausmatkat.

| Mittausajankohta | Reitti |
|------------------|----------------------------------|
| Toukokuu 2022 | Helsinki – Travemünde – Helsinki |
| Kesäkuu 2022 | Helsinki – Tallinna – Helsinki |
| Syyskuu 2022 | Helsinki – Travemünde – Helsinki |

Mitatut laivat olivat tyypiltään keskinopeita ROPAX-aluksia. Travemünden-linjan alukseen on asennettu avoimen kierron rikkipesurit, minkä ansiosta alus kykeni käyttämään polttoaineenaan halvempaa rikkipitoista raskasta polttoöljyä. Travemündeeseen saavuttaessa polttoaine vaihdettiin MDO:ksi johtuen Saksassa voimassa olevasta lainsäädännöstä, joka kieltää rikkipesureiden pesuvesien laskemisen veteen sisäisillä kulkuvesillä.

Tallinnan-laiva on varustettu dual fuel -moottorilla, mikä mahdollistaa aluksen polttoaineksi nesteytetyn maakaasun (LNG) ja kevyen polttoöljyn (tässä tapauksessa MGO:n). Nesteytetty maakaasu ei sisällä käytännössä lainkaan rikkiä, ja MGO:kin on vähärikkistä polttoainetta, joten erillisiä rikkipesurijärjestelmiä ei alukseen ole asennettu. LNG:n etuihin kuuluu lähtökohtaisesti hyvin vähäiset typen oksidien päästöt, jolloin TIER III päästöraajat täyttyvät ilman SCR-katalysaattoria. MGO:lla ajettaessa alus täyttää TIER II -vaatimukset, sillä TIER III vaatisi käytännössä katalysaattoria.

SCR-tekniikkaan perustuvat katalysaattorit ovat katalysaattorivaihtoehtoista meriliikenteessä eniten käytetty ratkaisu. Sen avulla NO_x-päästöt on mahdollista vähentää niin alas, että ne täyttävät TIER III -vaatimukset. Katalysaattorit vaativat toimiakseen riittävän korkeaa lämpötilaa, mikä yleensä ei ole ongelma operoitaessa tasaisella 80–85 prosentin normaallikuormalla. Erityisesti saaristossa tai satamien lähellä moottoreita kuitenkin joudutaan todennäköisesti ajamaan osakuormalla, jolloin pakokaasujen lämpötila ei välttämättä riitä mahdollistamaan katalysaattorin toimintaa suunnitellulla tavalla. Asia koskee erityisesti Suomea ja Ruotsia, missä vilkkaat saaristoväylät ja niiden varrella olevat asutuskeskittymät edellyttävät NO_x-päästöjen pitämistä hallinnassa haittavaikutusten rajoittamiseksi. Tämän tutkiminen mittaamalla oli yksi hankkeen tavoitteista, mutta COVID-viivästyksen takia asian selvittäminen jää tulevaisuuteen.

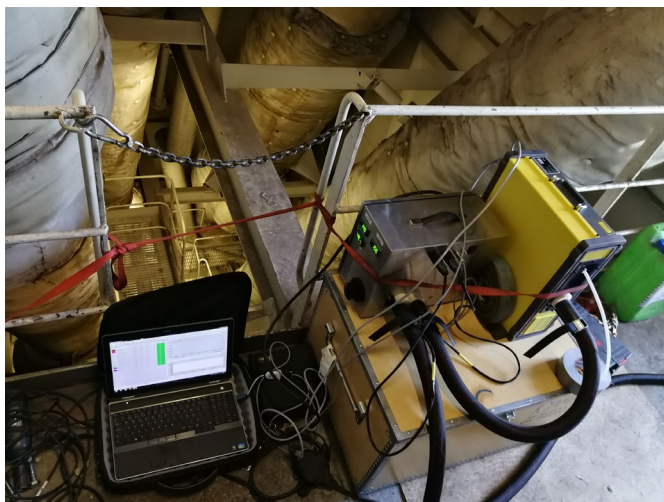
Jokaisessa testissä mittaukset tehtiin ISO 8178:n ja IMO NO_x Coden mukaisesti. Mittauksia tehtiin yhtäjaksoisesti koko reitin ajan laitteiston asennuksen jälkeen, joten mittausten kesto oli tyypillisesti vähintään useita tunteja. Laivan tietojärjestelmistä saatiin dataa aluksen moottoreiden ohjauksesta ja muista kulkuun vaikuttavista muuttujista mahdollistamaan päästödatan luotettava vertaaminen vallitseviin olosuhteisiin nähden.

Näytteenotto suoritetaan aluksen savukaasujärjestelmään tehtyjen näytteenottoyhteiden kautta (kuva 1). Raakakaasu johdetaan ennen analysaattoria kaasun käsittelyyn ja suodatimille. Pakokaasudatan tallennus tapahtuu 15 sekunnin välein, tosin analyysissä on huomioitava alusten tietojärjestelmien mahdollistama aikaintervalli tallentuneelle kulkudatalle. Pakokaasunäytteenotto tehtiin olemassa olevista näytteenottopisteistä Tallinnan-reitillä välittömästi pakokaasukattiloiden jälkeen ja Travemünden-reitillä korsteenista rikkipesureiden jälkeen. Tallinnan-reitillä mitattiin molemmat käytössä olleet pääkoneet molemmilla polttoaineilla. Travemünden-reitillä mitattiin vuoron perään kaikki neljä pääkonetta.



KUVA 1. Tyypillinen näytteenottopiste aluksella (kuva Marko Piispa).

Savukaasujen koostumus mitattiin jatkuvatoimisilla kaasuanalysaattoreilla (kuva 2). Tyypillisesti mitattavia kaasumaisia komponentteja olivat O_2 , CO_2 , CO , SO_2 ja NO_x . Kaasumaisten komponenttien lisäksi mitattiin myös haihtuvien orgaanisten yhdisteiden (TVOC) pitoisuudet. Erityisesti LNG:llä operoitaessa nämä yhdisteet ovat pääasiassa metaanipäästöjä, jolloin voidaan arvioida palamattoman metaanin määrää pakokaasuissa. Asia kiinnostaa tutkijayhteisöä merkittävästi, sillä metaani on hiilidioksidiin verrattuna voimakas mutta lyhytikäinen kasvihuonekaasu. Taulukossa 2 on esitetty mittausperiaatteet kullekin päästökomponentille.



KUVA 2. Tyypillisiä mittauslaitteistoja aluksella (kuva Marko Piispa).

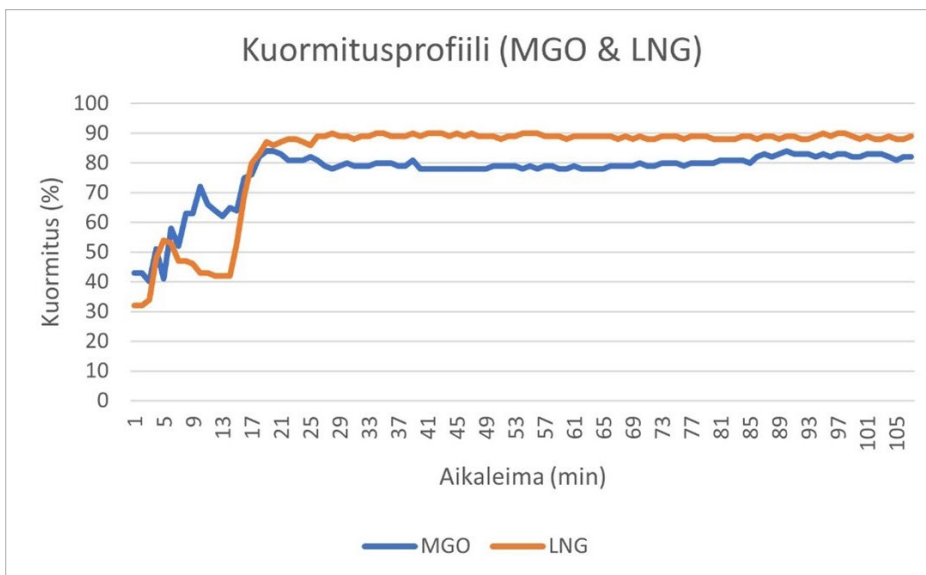
TAULUKKO 2. Komponenttien mittausperiaatteet.

| Komponentti | Mittausperiaate |
|---------------------------------------|------------------|
| typen oksidit (NO_x) | kemiluminesenssi |
| rikkidioksidi (SO_2) | IR-absorptio |
| hiilimonoksidi (CO) | IR-absorptio |
| hiilidioksidia (CO_2) | IR-absorptio |
| happi (O_2) | paramagneettinen |
| haihtuvat orgaaniset yhdisteet (TVOC) | FID |

MITTAUSTULOKSIA JA POHDINTAA

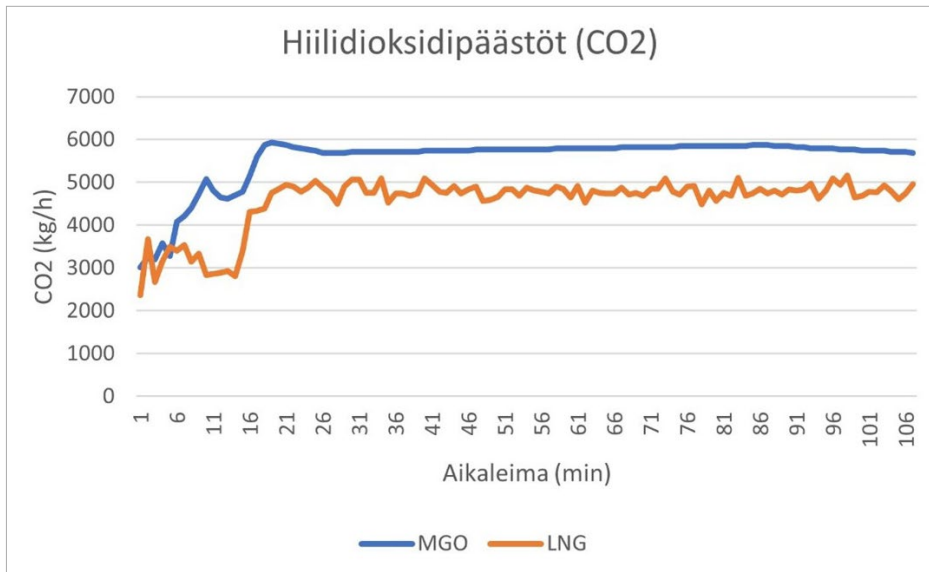
Tässä dokumentissa annetaan esimerkki siitä, miltä mittaustulokset näyttävät, ja annetaan osviittaa, millaisia johtopäätöksiä niistä voidaan tehdä. Poltettaessa kilogramma kaasua (LNG) syntyy hiilidioksidia noin 2,743 kg, mikä on vähemmän verrattuna kevytöljyihin (n. 3,206 kg) tai raskaaseen polttoöljyyn (3,114 kg). LNG:n koostumus vaihtelee jonkin verran alueittain, mutta energiasisältö (HHV-arvo) on laadusta riippuen yleensä noin 55 MJ/kg. Tämä on jonkin verran korkeampi arvo verrattuna kevyisiin öljyihin (n. 44–46 MJ/kg) tai raskaaseen polttoöljyyn (n. 42 MJ/kg). Toisaalta tilavuuteen suhteutettuna öljytuotteiden edut tulevat paremmin esille (raskas polttoöljy n. 41–42 MJ/l, kevyet polttoöljyt n. 39–42 MJ/l) johtuen aineiden tiheyserosta. LNG jää näistä lukemista jo selkeästi (n. 24 MJ/l). LNG:n energiatiheys litraa kohden on kuitenkin suuri (n. 600-kertainen) verrattuna normaalipaineessa olevaan maakaasuun. Kuitenkin kaasun käyttäminen polttoaineena lähtökohtaisesti mahdollistaa pienemmät hiilidioksidipäästöt polttoainetonnina kohden.

Kuvassa 3 on visualisoitu kahden mittausmatkan moottorin kuormitusprofiilit. MGO:lla ajettaessa kuormitus on ollut jonkin verran pienempi (n. 80–85 %) siinä, missä LNG:llä operoitaessa kuormitus on asettunut pääsääntöisesti lukualueelle 85–90 prosenttia. Tämä ero ei siis johdu polttoaineesta, vaan kahdella peräkkäisellä matkalla toisella on ollut tarve ottaa moottorista vähän lisää tehoa ulos. Eroavuus ei kuitenkaan ole kovin suuri.



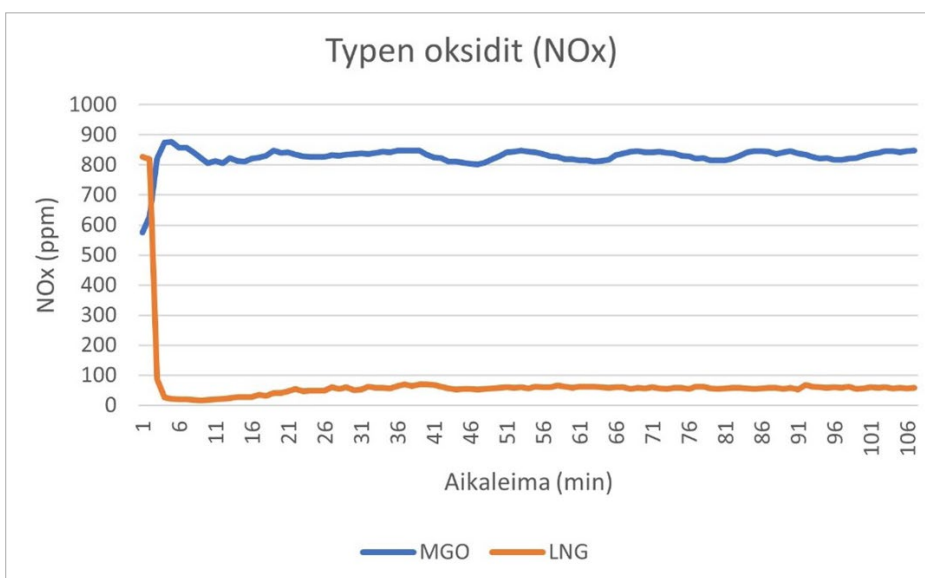
KUVA 3. Kuormitusprofiilit

Moottorin tuottamat hiilidioksidipäästöt on visualisoitu kuvassa 4. LNG:n hiilidioksidipäästöt ovat selkeästi alhaisemmalla tasolla verrattuna operointiin MGO:lla. Tämä siis absoluuttisina arvoina siitä huolimatta, että kuormitusprofiilin mukaan operoitaessa LNG:llä moottoria on kuormitettu enemmän polttoaineen kulutuksen ollessa samalla luonnollisesti suurempi. Osakuormalla operoitaessa hiilidioksidipäästöjen profiili seuraa hyvin tarkasti moottorin kuormitusta ja polttoaineen kulutusta.



KUVA 4. Hiilidioksidipäästöt.

Typen oksidien osalta eroavuus polttoainetyypeillä on huomattava (kuva 5). LNG:n tuottamat NO_x-päästöt ovat jatkuvasti selkeästi alle 100 ppm, käytännössä 50–80 ppm. Tämä on vähän verrattuna MGO:n päästöihin, joiden suuruusluokka asettuu pääasiassa 800–860 ppm. Mittausjakson alussa LNG-kaaviossa näkyy hetkellisesti varsin voimakkaat NO_x-päästöt, mutta tämä johtuu siitä, että tuolloin moottoria todellisuudessa operoitiin vielä MGO:lla. Kun LNG otettiin käyttöön, NO_x-päästöt romahtivat käytännössä välittömästi. On syytä huomioida, että tällä moottorityypillä NO_x-päästöjen määrät ovat varsin maltillisia myös MGO:lla. Usein pitoisuudet asettuvat vanhemmilla moottoreilla 1000–1500 ppm.



KUVA 5. Typen oksidien päästöt

YHTEENVETO

Xamkin Logistiikka ja merenkulku- sekä Metsä, ympäristö ja energia vahvuusalojen yhteisessä MEPTEK-hankkeessa käytössä on useita menetelmiä päästövähennysmenetelmien vertailussa. Alusten päästömittaukset ovat eräs keskeisistä menetelmistä, jolla tuotetaan ainituista dataa hankkeen käyttöön. Alusten päästömittauksista Xamkin KymiLabs-tutkimusyksiköllä on jo 30 vuoden kokemus, ja yksikkö on osallistunut lukuisiin tutkimushankkeisiin sekä tehnyt vuosien saatossa lukuisia kaupallisia sertifiointimittauksia varustamojen tilauksesta. MEPTEK-hankkeen ajoittuminen korona-aikaan on tuonut haasteita mittausten toteuttamiselle, mutta vuoden 2022 aikana mittauksia päästiin vihdoin tekemään. Hanke kuitenkin on edennyt muilta osin suunnitelmien mukaan, sillä mittaaminen on kuitenkin vain yksi, joskin tärkeä tapa vertailla päästövähennystekniikoita.

Alusten päästövähennysmenetelmiä usein tutkitaan ja vertaillaan hyvin kontrolloiduissa olosuhteissa. Esimerkiksi moottoreiden päästöjen sertifiointi tapahtuu määrättyillä kuormituksilla. Tähän ratkaisuun on päädytty, jotta kansainvälisessä ympäristössä toimintatavat olisivat mahdollisimman yhdenmukaiset ja siten keskenään vertailukelpoiset. Hankkeessa tehtävissä mittauksissa tavoitteena oli tuottaa pidempiaikaista dataa päästövähennysmenetelmien tehokkuudesta todellisissa olosuhteissa, jotta vertailussa tulisivat paremmin esiin esimerkiksi menetelmien toimivuus erilaisilla osakuormilla. Tutkimuksen tavoitteena on kuitenkin tuottaa tietoa päätöksenteon tueksi, jota voidaan saada ainoastaan perehtymällä todellisissa olosuhteissa liikkuviin aluksiin.

Mittaukset suoritettiin Itämerellä liikennöivissä ROPAX-aluksissa kevään ja syksyn 2022 aikana. Esimerkkejä tallentuneesta datasta on annettu tässä artikkelissa ja hankkeen lopuraporttiin tullaan sisällyttämään yksityiskohtaisempaa analyysiä datasta tehdyistä johtopäätöksistä.

LÄHTEET

Fourth IMO GHG Study 2020 – Final report. 2020. International Maritime Organisation.

FuelEU Maritime. 2021. Proposal for a regulation of the European parliament and of the council on the use of renewable and low-carbon fuels in maritime transport and amending Directive 2009/16/EC. PDF-dokumentti. Päivitetty 14.7.2021. Saatavissa: https://ec.europa.eu/info/sites/default/files/fueleu_maritime_-_green_european_maritime_space.pdf [viitattu 9.9.2022].

BETONI HIILINIELUNA – RATKAISUJA VÄHÄHIILISEEN RAKENTAMISEEN

Elli Tykkä

Marraskuussa 2022 käynnistyneessä Betoni hiilinieluna – Ratkaisuja vähähiiliseen rakentamiseen -hankkeessa pyritään pienentämään betonin hiilijalanjälkeä aktiivisin keinoin. Hanke on jatkoa lupaavia tutkimustuloksia tuottaneelle BECO-hankkeelle, joka toteutettiin Xamkin KymiLabs-tutkimusyksikössä. Hankkeessa saatiin arvokasta tutkimusaineistoa hiilidioksidin positiivisesta vaikutuksesta kovettuneen betonin ominaisuuksiin. Betoni hiilinieluna -hanke jatkaa jo aloitettua tutkimusta ja laajentaa sitä. Hanketta rahoittaa Uudenmaan liitto Euroopan aluekehitysrahastosta, ja hankkeen toteutusaika on 1.11.2022–30.9.2024.

TAUSTAA

Betonirakentaminen on ympäristölle kuormittavaa, sillä sen pääraaka-aineen, sementin, valmistaminen on erittäin hiili-intensiivistä. Sementin valmistaminen vaatii paljon energiaa, ja lisäksi valmistuksen aikana vapautuu runsaasti hiilidioksidia.

Kovettunut betoni toimii hiilinieluna niin kauan kuin sen pinnalla on kontakti ilman kanssa. Karbonatisoituessaan betoni sitoo itseensä ilmakehästä hiilidioksidia muuttaen sen kalsiumkarbonaatiksi ja lukiten hiilidioksidin näin lopullisesti itseensä. Vuosittain hiilidioksidia sitoutuu Suomen rakennuskantaan kaikkiaan noin kymmenen prosenttia sementtiteollisuuden päästöistä, ja kierrätysbetonin osuus huomioituna osuus on vielä selvästi suurempi (Betoniteollisuus ry 2020). Kuitenkin tarvitaan myös aktiivisia toimenpiteitä, jotta betoni saavuttaisi hiilineutraaliuden.



KUVA 1. Betoni toimii hiilinieluna reagoidessaan ilmassa olevan hiilidioksidin kanssa (kuva Manu Eloaho).

Betonin hiilineutraaliutta tavoitellaan muun muassa käyttämällä vaihtoehtoisia sideaineita korvaamaan sementtiä. Myös uusio- ja kierrätyskiviainekset pienentävät osaltaan betonin hiilijalanjälkeä. Betoniteollisuus on kuitenkin kovin standardisoitua, ja vaihtoehtoisten osa-aineiden käytölle on asetettu selkeät rajat (SFS 7022: 2019). Jo olemassa olevilla toimenpiteillä betonista ei siis ole helppoa saada hiilineutraalia.

Yksi alan uusimmista ja kiinnostavimmista päästöjen vähentämiseen tähtäävistä teknologioista on betonin kovetus hiilidioksidin avulla. Ihanteellisinta kovetus olisi tehdä teollisuuden päästöistä talteen otetulla hiilidioksidilla (CCU), mutta teknologia ja tutkimus eivät ole vielä näin pitkällä. Parhaassa tapauksessa hiilidioksidikovuksessa etuja syntyy kahdella tavalla: talteen otettua hiilidioksidia sitoutuu betoniin ja kovetuksen seurauksena betonin on raportoitu lujittuvan. Hiilidioksidikovuksen ansiosta päästöintensiivisen sementin määrää voidaan vähentää betonia valmistettaessa.

TAVOITTEENA HIILINEUTRAALIMPI BETONI

Betoni hiilinieluna -hanke pyrkii edistämään koko betoniteollisuuden hiilineutraaliustavoitteita. Betonireseptien optimoimisella ja teknologian kehittämällä tähdätään valmistamaan teollisessa mittakaavassa betonia, jonka hiilijalanjälki on mahdollisimman pieni sen kuitenkaan vaikuttamatta heikentävästi betonin totuttuihin ominaisuuksiin.

Tavoitteena on aikaansaada niin merkittäviä tuloksia, että niiden avulla on mahdollisuus vaikuttaa alan standardisointi- ja yleisiin käytänteisiin. Tavoitteena on vähentää betonin hiili-intensiivisyyttä myös kierrätysmateriaaleja osa-aineina hyödyntäen.

TOIMENPITEET JA TULOKSET

Betoni hiilinieluna -hankkeessa on viisi toimenpidepakettia:

TP 1. Teknologian vaatimusten selvittäminen ja kehittäminen

TP 2. Reseptiikan kehittäminen ja optimointi

TP 3. Hiilidioksidin sidonnan validointi

TP 4. Pilotoinnit

TP 5. Viestintä

Toimenpiteitä toteutetaan yhteistyössä hankkeessa mukana olevien betonialan yritysten kanssa. Tutkimus tehdään KymiLabs-tutkimusyksikössä muiden tutkimuslaitosten apua osittain hyödyntäen, mutta pilotointi tehdään teollisessa mittakaavassa.

Suuri painoarvo hankkeen tuloksissa annetaan teknologian kehittämislle. Hankkeen tuloksena saadaan todennettua tietoa ja osaamista betonin hiilidioksidikovuksen suoritustekniikasta, hiilijalanjäljestä sekä teknistaloudellisista eduista ja rajoituksista. Teknologia on mahdollista ottaa laajasti teollisuuden käyttöön, jolloin sen tulokset ovat nähtävissä valtakunnallisella tasolla.

Hankkeen vihreiden arvojen kannalta on merkityksellisintä selvittää valmistuvan tuotteen hiilijalanjälki. Betonin ominaisuudet eivät kuitenkaan saa kärsiä liiaksi hiilineutraaliuden tavoittelusta, vaan reseptiikassa haetaan optimaalista ratkaisua.

Jotta hiilijalanjälkeä pystyy uskottavasti arvioimaan, täytyy betoniin sitoutuneen hiilidioksidin määrä voida todentaa. Hankkeen aikana tutkitaan, validoidaan ja testataan hiilidioksidin käyttöä ja sen vaatimuksia. Sen käyttöaste optimoidaan niin, etteivät betonin ominaisuudet heikkene.

Hankkeen tavoitteena on saada hiilidioksidi yleisesti hyväksytyksi lisäaineeksi betonin valmistukseen. Uuden prosessin yleistyttyä ilmastovaikutukset voivat olla merkittävät: kun hiilidioksidi otetaan talteen teollisuuden päästöistä ja aikaansaadaan sen avulla lujempaa betonia, voidaan betonia valmistaa vähemmällä sementillä, jolloin sementtiä tarvitsee ylipäätään valmistaa vähemmän. Sementin valmistamatta jättämisellä otetaan suuri harppaus kohti hiilineutraaliutta!

LÄHTEET

Betoniteollisuus ry. 2020. Betoni on hiilinielu - vuodessa 10 % sementtiteollisuuden päästöistä sitoutuu rakennuskantaan. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.epressi.com/tiedotteet/rakentaminen/betoni-on-hiilinielu-vuodessa-10-sementtiteollisuuden-paastois-ta-sitoutuu-rakennuskantaan.html> [viitattu 5.12.200]

SFS 7022. 2019. Betoni. Standardin SFS-EN 206 käyttö Suomessa.

