

Metsä, ympäristö ja energia

Soveltavaa tutkimusta ja tuotekehitystä

Vuosijulkaisu 2023

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 2023

XAMK KEHITTÄÄ 227

KAAKKOIS-SUOMEN AMMATTIKORKEAKOULU
MIKKELI 2023



© Tekijät ja Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu

Kannen kuva: Aki Mykkänen

Taitto ja paino: Grano Oy

ISBN 978-952-344-554-3 (nid.)

ISBN 978-952-344-555-0 (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 2023 Metsä, ympäristö ja energia – soveltavaa tutkimusta ja tuotekehitystä -julkaisu on 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 24.11.2023

Tekijät

TIIVISTELMÄ

Xamkin Metsä, ympäristö ja energia -vahvuusalan vuoden 2023 vuosijulkaisussa esitellään ajankohtaisia tutkimus-, kehitys- ja innovaatiohankkeita keskittyen tuoreisiin tuloksiin. Julkaisuja on kaikilta vahvuusalan eri osaamiskärkien aloilta. Artikkelit kattavat Xamkin kaikkien keskeisten toimintakaupunkien ja maakuntien alueilla tehtävän toiminnan esittelyt biokiertotalouden, energiajärjestelmien, ympäristöturvallisuuden, metsätalouden sekä puumateriaalitutkimuksen ja teknologioiden aloilla.

Vuosijulkaisussa esitellään vahvuusalan kehityshankkeita Kotkan, Kouvolan, Mikkelin sekä Savonlinnan tutkimusyksiköiden, laboratorioiden ja tutkimusryhmien näkökulmista. Entistä suuremmassa osassa projekteissa Xamkin eri toimijakaupungeissa sijaitsevat yksiköt tekevät yhteistyötä yli kaupunki- ja maakuntarajojen, ja myös tästä laajentuneesta yhteistyöstä julkaisussa on esimerkkejä muun muassa bioenergian, rakentamisen kiertotalouden sekä uusien puupohjaisten tuotteiden kehittämisen aloilta.

Kymenlaakson näkökulmasta julkaisu painottuu uusien ja kestävien energiaratkaisujen, vetytalouden sekä vähähiilisen rakentamisen edistämiseen. Vähähiilisen rakentamisen alalla nostetaan esille hiilidioksidin sitominen betonituotteisiin. Hiilen sidonnan innovatiivisia mahdollisuuksia rakennustuotteisiin esitellään myös Etelä-Savon vuosijulkaisun osuudessa. Lisäksi Etelä-Savon osalta julkaisussa on Xamkin Mikkelissä toimivan Ympäristöturvallisuuden ja vesiteknologian tutkimusryhmän ajankohtaiset katsaukset hajautetun sähköntuotannon mahdollisuuksista sekä biokaasun tuotannon tehostamisen, ravinteiden kierrätyksen, vesistöjen puhtauden sekä rakentamisen kiertotalouden aiheista. Savonlinnan TKI-toimintaa esitellään kuitutuotteiden ja -prosessien sekä vähähiilisen rakentamisen kehittämistoiminnan aloilta. Julkaisussa esitellään myös Xamkin erikoisosaamista vihreän siirtymän ja akkuminaalien jalostuksen alalla sekä energiantuotannossa vapautuvan hiilen sidonnan teknisiä ratkaisuja.

Kansainväliset esimerkit keskittyvät puuvillan kierrätyksen materiaali- ja prosessiteknikoiden esittelyihin, kaupunkien kiertotaloushaasteiden ratkaisemiseen EU-laajuisena yhteistyönä sekä erikoistuneisiin biojalostamoprosessiratkaisuihin.

Asiasanat: biotalous, kiertotalous, droonit, ympäristövaikutukset, kansainvälisyys, vihreä kasvu, kestävä rakentaminen, aluekehitys, älykäs erikoistuminen

ABSTRACT

The 2023 annual publication of Xamk's focus area Forest, the Environment and Energy presents current research, development and innovation projects, focusing on recent results. Publications are available on all strategic emphases of the focus area. The articles include the presentations of Xamk's operations related to circular bioeconomy, energy systems, environmental safety, forestry and wood material science and technologies in all the key cities and regions.

The annual publication presents the focus area's development projects from the viewpoints of the Kotka, Kouvola, Mikkeli and Savonlinna research units, laboratories and research groups. Units located at different Xamk campuses cooperate across the boundaries of cities and regions in an increasing number of projects. The publication also features examples of this expanded cooperation in fields such as bioenergy, the circular economy of construction and the development of new wood-based products.

From the perspective of Kymenlaakso, the publication focusses on promoting new and sustainable energy solutions, the hydrogen economy and low-carbon construction. Carbon sequestration in concrete products is in the spotlight in the area of low-carbon construction. The innovative possibilities for carbon sequestration in construction products are also presented in South Savo's section of the annual publication. The South Savo section of the publication also features topical reviews of the potential of decentralised electricity production and topics related to the efficiency of biogas production, nutrient recycling, clean water systems and the circular economy of construction by Xamk's Mikkeli-based Environmental Safety and Water Engineering research group. The showcased RDI activities in Savonlinna include fibre products and processes and the development of low-carbon construction. The publication also presents Xamk's expertise in the green transition and battery mineral processing as well as its efforts to promote technical solutions for carbon sequestration in connection with energy production.

International examples include presentations of material and process techniques for cotton recycling, solutions to challenges of the circular economy in cities through EU-level cooperation, and specialised biorefinery process solutions.

Keywords: circular bioeconomy, drones, environmental impacts, internationalisation, green transition, low-carbon construction, regional development, smart specialisation

TEKIJÄT

ANNA DUNDERFELT,

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

CARINE FABRITIUS,

MFA, TKI-asiantuntija
Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu,
Digitaalinen talous -vahvuusala

ANNE GANGO,

DI, lehtori
Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu,
Rakennus- ja energiatekniikan koulutusyksikkö

KIMMO HAAPEA,

KTM, kehityspäällikkö
Mikkelin kehitysyritys Miksei Oy

ARI HAAPANEN,

insinööri (YAMK), lehtori
Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu, Kulttuurin koulutusyksikkö

NOORA HAATANEN,

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

SAMUEL HARTIKAINEN,

FM, väitöskirjatutkija
Oulun yliopisto, Oulu Mining School ja Itä-Suomen yliopisto,
farmasian laitos

AARNO HATSALA,

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

YRJÖ HILTUNEN,

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

SATU HUURTOMAA,

FM, projektipäällikkö
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

ZIGMAS JUCIUS,

Environmental Engineering -tutkinto-opiskelija
Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu

TIMO JUUSOLA,

insinööri AMK, tutkimusinsinööri
Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu,
Metsä, ympäristö ja energia -vahvuusala

JERE JÄRVENPÄÄ,

DI-opiskelija (UEF), tutkimusapulainen
Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu,
Metsä, ympäristö ja energia -vahvuusala

JOHANNA JÄRVINEN,

ympäristötekniikan insinööri (AMK), kiertotalousasiantuntija
Mikkelin kehitysyritys Miksei Oy

SANNI KALILAINEN,

Environmental Engineering -tutkinto-opiskelija
Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu

ANNA KEMPPINEN,

Environmental Engineering -tutkinto-opiskelija
Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu

MIKA KESKI-LUOPA,

ins. amk, TKI-asiantuntija
LAB-ammattikorkeakoulu

KRISTJAN KULLASTE,

Environmental Engineering -tutkinto-opiskelija
Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu

NIKO KINNUNEN,

insinööriopiskelija (AMK), projektityöntekijä
Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu,
Metsä, ympäristö ja energia -vahvuusala

JANI KIVIRANTA,

MBA, projektipäällikkö
Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu,
Digitaalinen talous -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

KATI KONTINEN,

MML, lehtori
Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu,
Metsätalouden ja ympäristötekniikan koulutusyksikkö

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

MAUNU KUOSA,

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

EVELIINA KUOKKANEN,

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

HANNU KUOPANPORTTI,

TkT, vanhempi tutkija
Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu,
Metsä, ympäristö ja energia -vahvuusala

PERTTI KOUKKARI,

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

MARIKA KURKINEN,

muotoilija YAMK, projektipäällikkö
Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu,
Metsä, ympäristö ja energia -vahvuusala

JAANA KYHYRÄINEN,

tradenomi, asiantuntija
Kouvola Innovation

TURO LAINE,

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

HANNA LAUKKANEN,

laborantti

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

NIINA LAURILA,

insinööri (AMK), TKI-asiantuntija

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

ILKKA LILJANDER,

hankinta-asiantuntija

Mikkelin kehitysyritys Miksei Oy

JUKKA LUOKO,

laboratoriotyöntekijä

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

JENINA LUOTOLAMPI,

ympäristötekniikan insinööri (AMK), projektipäällikkö
Mikkelin kehitysyritys Miksei Oy

MARIA LUUKKANEN,

insinööri (AMK), projektitutkija

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

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

PÄIVI MENARD,

asiantuntija

Kouvola Innovation

EKATERINA NIKOLSKAYA,

FT, projektitutkija

Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu,

Metsä, ympäristö ja energia -vahvuusala

JUHA-PEKKA ONTRONEN,

KTM, projektiasiantuntija

Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu,

Metsä, ympäristö ja energia -vahvuusala

NIINA PAASOVAARA,

FM, projektipäällikkö

Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu,

Metsä, ympäristö ja energia -vahvuusala

JUHANA PAKKASMAA,

DI, TKI-asiantuntija

Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu,

Metsä, ympäristö ja energia -vahvuusala

LEENA PEKURINEN,

insinööri (YAMK), projektitutkija

Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu,

Metsä, ympäristö ja energia -vahvuusala

JYRKI PESONEN,

B.sc. computer tech, Technology Manager

Raute Oyj

KALLE PESONEN,

DI, lehtori

Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu,

Sähkö-, talo- ja materiaalitekniikan koulutusyksikkö

JUHO PEURA,

puutekniikan insinööri (AMK), tutkimusinsinööri

Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu,

Metsä, ympäristö ja energia -vahvuusala

SIRPA PERÄNIEMI,

FT, yliopistotutkija
Itä-Suomen yliopisto, farmasian laitos

ANU PIHLAJANIEMI,

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

MILLA PITKÄNEN,

insinööri AMK, TKI-asiantuntija
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

SIRPA RAHIALA,

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

JUHO RAJALA,

FT, koulutusjohtaja
Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu,
Metsätalouden ja ympäristötekniikan koulutusyksikkö

TUIJA RANTA-KORHONEN,

FM, insinööri AMK, TKI-asiantuntija
Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu,
Metsä, ympäristö ja energia -vahvuusala

EVELIINA REPO,

professori (Erotustekniikan osasto), TkT
Lappeenrannan–Lahden teknillinen yliopisto LUT

ANTI ROHUMAA,

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

TIINA RONKAINEN,

FT, MMM, johtava asiantuntija
Tapio Oy

HANNU SARVELAINEN,

DI, lehtori
Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu,
Rakennus- ja energiatekniikan koulutusyksikkö

HANNE SOININEN,

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

MIIA SOURANDER,

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

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

IRINA TURKU,

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

HANNU TURUNEN,

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

JUHANI TURUNEN,

TkL, TKI-asiantuntija
Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu,
Metsä, ympäristö ja energia -vahvuusala

ELLI TYKKÄ,

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

NINA WEHRENBRECHT,

insinööri AMK opiskelija, laboratorioassistentti
Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu,
Metsä, ympäristö ja energia -vahvuusala

SISÄLTÖ

LUKIJALLE	5
TIIVISTELMÄ	6
ABSTRACT	7
TEKIJÄT	8
TIETOA, INNOVAATIOITA JA ALUEELLISTA VAIKUTTAVUUTTA	21
Lasse Pulkkinen & Petteri Jernström & Hanne Soininen	
CITYLOOPS VAUHDITTI MIKKELIN KAUPUNGIN SIIRTYMISTÄ KIERTOTALOUTEEN	28
Vuokko Malk & Hanne Soininen & Juha-Pekka Ontronen & Johanna Järvinen & Kimmo Haapea & Ilkka Liljander	
UUSIA RATKAISUJA PURKAMISEN KIERTOTALOUTEEN	34
Salla Pulliainen & Hanne Soininen & Kimmo Haapea & Jenina Luotolampi	
AWE – ARTIC WATER EXCELLENCE.....	37
Niina Laurila & Hanne Soininen & Eveliina Repo	
TIELIIKENTEESSÄ SYNTYVÄN MIKROMUOVIN MÄÄRÄN ARVIOINTI HANHIJOEN VALUMA-ALUEELLA.....	40
Tuija Ranta-Korhonen	
YLEISÖTILAISUUDET BIOVIRTAA-HANKKEESSA	51
Tuija Ranta-Korhonen & Marleena Tirkkonen & Jaana Kokkonen	
KULUTTAJAVIESTINNÄN AVULLA LISÄTÄÄN TIETOISUUTTA TEKSTIILIKIERTOTALOUDESTA	56
Kati Jordan & Miia Sourander	
MAASEUTUJEN ENERGIAYHTEISÖT INNOVATIIVISIA JA KESTÄVIÄ ENERGIAJÄRJESTELMIÄ	63
Anna Dunderfelt & Juha Korpijärvi & Kalle Pesonen	
POP-YHDISTEET RAKENNUSMATERIAALEISSA.....	66
Leena Pekurinen	
VOIKO BIOHIILELLÄ EDISTÄÄ KESTÄVÄÄ RAKENTAMISTA JA KIERTALOUTTA	74
Anna Dunderfelt & Miia Sourander	

TURVETUOTANTOALUEIDEN JATKOKÄYTTÖ TURVALLISESTI – YMPÄRISTÖVAIKUTUKSET HUOMIOIDEN	81
Kati Kontinen & Tiina Ronkainen	
BLUE ECONOMY MIKKELI AS A PRACTICAL LEARNING ENVIRONMENT FOR ENVIRONMENTAL ENGINEERING STUDENTS	89
Anna Kemppinen & Kristjan Kullaste & Sanni Kalilainen & Zigmas Jucius & Juho Rajala	
PUUMATERIAALIN PINTAHIILTÄMISEN KEHITTÄMINEN – PUUPIHI	95
Hannu Turunen	
PALOSUOJAUKSEN PITKÄAIKAISKESTÄVYYS.....	102
Juho Peura	
SUUREN MITTAKAAVAN TUTKIMUSYMPÄRISTÖJÄ TEOLLISUUSYHTEISTYÖHÖN.....	110
Lasse Pulkkinen	
CEBIPRO – UUSIA ANALYYSITEKNIKOITA KIERTOTALOUDEN BIOJALOSTAMOIHIIN	116
Ella Tirronen & Ekaterina Nikolskaya & Yrjö Hiltunen	
SELLUTEHTAAN VEDENKÄYTÖN VÄHENTÄMINEN.....	122
Juhani Turunen	
SELLUTEHTAAN RUSKEAN MASSAN PESU JA ON-LINE TDS -MITTAUSJÄRJESTELY.....	128
Riku Kopra	
MIKROFIBRILLOITU SELLULOOSA (MFC) PAPERI- JA KARTONKITUOTTEISSA	136
Maria Luukkanen	
UUSIMMAT EDISTYSASKELEET "IMPRESS-BIOJALOSTAMON" PROSESSIVAIHEIDEN KEHITYKSESSÄ	144
Noora Haatanen	
NEW COTTON -HANKE DEMONSTROI KIERTOTALOUSAJATTELUN MUKAISTA PUKEUTUMISTA.....	153
Noora Haatanen	
TEKSTIILIJÄTTEEN REGENEROINTIMENETELMÄN ESIKÄSITTELYVAIHEEN PROSESSIOLOSUHEIDEN KARTOITUS	159
Noora Haatanen & Juhana Pakkasmaa & Anu Pihlajaniemi & Hanna Laukkanen	
NMR-MENETELMÄÄN PERUSTUVA UUSI MITTAUSJÄRJESTELMÄ LIIKKUVIEN VIILULEVYJEN MITTAAMISEEN	167
Jere Järvenpää & Ekaterina Nikolskaya & Jyrki Pesonen & Yrjö Hiltunen	

TEOLLISEN PUURAKENTAMISEN LABORATORION TUTKIMUSYMPÄRISTÖ SAVONLINNASSA – TESTITALOT TKI-ALUSTANA.....	174
Antti Rohumaa & Lasse Pulkkinen	
MASSIIVIPUURAKENTEISEN PROSESSIVALVOMON SUUNNITTELU JA TOTEUTUS.....	181
Aarno Hatsala & Niko Kinnunen & Fanny Malmstedt	
FORESTRY INDUSTRY WASTE AND BY-PRODUCTS USED AS RAW MATERIALS FOR THE DEVELOPMENT OF FIRE RESISTANTS	192
Irina Turku	
KOHTI VIHREÄMPÄÄ KAIVOSTOIMINTAA.....	203
Niina Paasovaara & Samuel Hartikainen & Hannu Kuopanportti & Sirpa Peräniemi	
YLI 20 VUOTTA HIILIDIOKSIDIN TEOLLISUUSKÄYTTÖÄ: ESIMERKKI ONNISTUNEESTA TKI-YHTEISTYÖSTÄ.....	211
Pertti Koukkari	
HIILIDIOKSIDILLA LISÄÄ TEHOA SEMENTIN HYDRATAATIOON.....	224
Elli Tykkä & Jukka Louko	
INNOVATIIVISET ALUEELLISET RATKAISUT ENERGIAMURROKSEN HAASTEISIIN.....	231
Timo Juusola & Tuija Korpela & Erja Tuliniemi & Maunu Kuosa & Hannu Sarvelainen	
KIERRÄTYSKSTIILIN LIUOTUSKOKEET BIOSAMMOSSA.....	239
Eveliina Kuokkanen & Anne Gango	
DEVELOPING THE RESEARCH AND EDUCATION ENVIRONMENT FOR BATTERY MATERIALS IN THE FUTURE.....	247
Nina Wehrenbrecht & Milla Pitkänen & Turo Laine	
ETUNOJASSA KOHTI KESTÄVÄMPÄÄ RAKENNETTUA YMPÄRISTÖÄ.....	259
Marika Kurkinen	
DIGITAALISIA RATKAISUJA KIERTOTALOUTEEN.....	264
Melina Maunula & Ari Haapanen & Jani Kiviranta & Carine Fabritius & Jaana Kyhyräinen	
VÄHÄHIILINEN RAKENTAMINEN KIERRÄTYSMATERIAALEILLA.....	278
Maunu Kuosa & Tuija Korpela & Paulus Kiviranta & Sirpa Rahiala & Satu Huurtomaa	

BIOHIILEN SYTTYMIS- JA PALO-OMINAISUUKSIEN TARKASTELU SEKÄ VAIKUTUS PUUKUITUERISTEEN PALO-OMINAISUUKSIIN JA LÄMMÖNJOHTOKYKYYN	287
Jaana Kokkonen & Satu Huurtomaa	
HYÖTYVIRTA-ALUEELLE UUTTA LIIKETOIMINTAA	298
Satu Huurtomaa & Päivi Menard	
VIHREÄN VEDYN TUOTANTOLAITOSTEN HUKKALÄMMÖN HYÖDYNTÄMISMAHDOLLISUUDET KAAKKOIS-SUOMESSA.....	306
Paulus Kiviranta & Sirpa Rahiala & Mika Keski-Luopa	

TIETOA, INNOVAATIOITA JA ALUEELLISTA VAIKUTTAVUUTTA

Lasse Pulkkinen & Petteri Jernström & Hanne Soininen

Xamkin Metsä, ympäristö ja energia -vahvuusalan TKI-toiminta on vuonna 2023 ollut jälleen laajempaa kuin koskaan aiemmin. Alueellinen EAKR-rahoitus on tärkeässä roolissa projektimme rahoittamisessa, ja EU-ohjelmakauden murros onkin osaltaan leimannut projektitoimintaamme. Hankkeita toteutetaan tiiviissä yhteistyössä alueellisen toimija- ja osaajaverkoston kanssa, ja erityisesti yritysten sekä erilaisten ekosysteemien kanssa tehty TKI-toiminta on Xamkille erittäin tärkeää. Paikalliset, alueelliset, kansalliset että kansainväliset kehityshaasteet vihreän ja puhtaan siirtymän sekä uusien kestävien tuote- ja teknologiaratkaisujen osalta ovat keskeinen osa vahvuusalan TKI-toimintaa. Näitä ratkaisuja on soveltavan tutkimuksen ja innovaatiotoiminnan näkökulmista kehitetty erityisesti teollisuuden, energian tuotannon sekä rakentamisen aloilla.

Toimintamme tärkeimmät kotipesät ovat omistajakaupunkimme Kotka, Kouvola, Mikkeli ja Savonlinna sekä Etelä-Savon ja Kymenlaakson maakunnat. Demonstroitihankkeet, pilotoinnit ja empiirinen tutkimus kohdistuvat vahvuusalallamme tässäkin alueellisten mahdollisuuksien ja haasteiden edistämiseen uusiksi tuotteiksi ja liiketoiminnoiksi. Useat vuosijulkaisun artikkelit ja Xamkin asiantuntijoiden sekä yhteistyöyritysten ja muiden yhteistyöorganisaatioiden kanssa tehdyt projektien esittelyt ovat käytännön esimerkki siitä vahvasta käytännön yhteistyöstä, joka on tärkeää myös alueellisen osaamisen kehittämisen ja hyödyntämisen näkökulmista.

Artikkeleissa kuvatuissa projekteissa ja esimerkeissä on 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 kansainvälistenkin hyödynnettävien innovaatioiden tuottamiseen. Alueellinen älykäs erikoistuminen on ponnahduslauta alueellisen innovaatiotoiminnan kautta kansainvälisille markkinoille.

Niin Etelä-Savossa kuin Kymenlaaksossa on Xamkin toiminnan ympärille muodostuneita erikoistuneita tutkimusinfrastruktuureja ja osaamiskeskittymiä

metsäbiotalouden, vesiosaamisen, kestävän rakentamisen, sivuvirtojen tehokkaan hyödyntämisen sekä uusiutuvien energiatekniikoiden aloilla. Näissä solmukohdissa tehty innovaatiotyö on laajentumassa entistä nopeammin ja vaikuttavammin kaupunki- ja aluekohtaisista verkostoista kansallisen ja kansainvälisen tutkimus-, kehitys- ja innovaatiotoiminnan foorumeiksi.

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. Biotalous, 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. Vahvuusalan vuosijulkaisu on yksi tärkeä työkalu levittää monialaisesti ja tehokkaasti Xamkin TKI-toiminnan tuloksia toiminta-alueensa ja verkostonsa hyödyksi. Kestävän tulevaisuuden ja energiamurroksen sekä biokierron hallinnan ratkaisujen kehittäminen edellyttää alueellisilta toimijoilta syvällistä osaamista ja innovatiivisuutta. Samoin ympäristöturvallisuuden ja vesiteknologian alalla alueellinen toimintamme edustaa erikoistumisen aloillamme kansallista ja kansainvälistä kärkeä. Xamkin uudistuneen strategian kannalta tärkeä metsäbiotalous on vahvasti esillä julkaisussa niin puutuotteiden innovatiivisen kehittämisen, puurakentamisen kuin puun kemiallisesti jalostettavien tuotteiden ja prosessitekniikoiden näkökulmista. Lisäksi julkaisussa ovat esillä uutena vahvistettavana kehittämisalana oleva tulevaisuuden vetytalous sekä vihreän siirtymän mahdollisuuksien hyödyntäminen myös Kaakkois-Suomessa.

Kestävä tulevaisuus ja vihreä siirtymä eivät rakennu tyhjästä

Mittavat laitehankinnat Anjalassa sijaitsevaan BioSampoon pääsivät täyteen vauhtiin alkuvuonna 2023. Yhtä aikaa investointien kanssa BioSammolle etsitään uusia tiloja, jotka mahdollistavat kasvustrategian ylläpitämisen myös tulevaisuudessa. Investointiohjelma jatkuu syksyllä käynnistyneessä kunnianhimoisessa Arvohiili-hankkeessa, jossa BioSammon TKI-ympäristöä edelleen laajennetaan ja osaamista kehitetään vahvuusalan tiekartan mukaisesti. Samalla luodaan pohjaa kansainvälisten verkostojen rakentamiselle ja edistetään alueen houkuttelevuutta vihreän siirtymän yritysten näkökulmasta. BioSammossa tutkitaan myös poistotekstiilien käsittelyä ja hyödynnettävyyttä sekä etsitään keinoja kehittää

rakentamisen materiaalitehokkuutta. Digitaalisuus nivoutuu hankkeisiin luontevasti. Vuosijulkaisun BioSampo-katsaukset avaavat lukijalle mielenkiintoisen näkymän tutkimusyksikön operatiiviseen toimintaan.

Kotkan–Haminan seudulle suunnitteilla olevan akkuklusterin tuloon valmistautuminen on jatkunut vuoden 2023 aikana tiiviissä yhteistyössä LUT:n ja Kotkan–Haminan seudun koulutuskuntayhtymä Ekamin kanssa. Oppeja ja oivalluksia on haettu sekä kotimaasta että Ruotsista Skellefteåsta, jossa sijaitsee NorthVoltin Euroopan suurin sähköautojen akkuja valmistava jättitehdas.

Energiatehokkuuden ja energian varastoinnin rinnalla myös vetytalous on esillä vuosijulkaisussa. Vedyn valmistuksessa syntyvän hukkalämmön hyödyntäminen on kiertotalouden mukaista ja edellytys P2X-investointien kannattavuudelle. Meillä oleva energiamurros näkyy myös tutkimusstrategiassa; energiatekniikan tutkimusryhmän uudeksi kärkiteemaksi päivitettiin kestävät energiajärjestelmät, joissa sektori-integraatiolla on tärkeä rooli. Teemasta käynnistetään tammikuussa 2024 kaksi merkittävää tutkimushanketta (Genesis ja Geoenergialoikka), joissa päätavoitteena on suunnitella ja rakentaa Kotkaan kansainvälisen tason kestävä energian TKI-ympäristö.

Kotkan kampuksella sijaitsevassa KymiLabsissa vuonna 2021 aloitettu tutkimus betonin hiilidioksidikovettamisesta on herättänyt laajaa kiinnostusta alan teollisuuden ja tutkijoiden keskuudessa. Valmisteilla on jo järjestyksessä kolmas tutkimushanke, jossa kunnianhimon tasoa on entisestään nostettu. Rakennetulla ympäristöllä on ratkaiseva rooli ilmastonmuutoksen hillinnässä. Esimerkiksi betonin sideaineen sementin tuotanto kattaa kahdeksan prosenttia kaikista maailman hiilidioksidipäästöistä.

Soveltavaa tutkimusta metsäbiotalouden sekä vihreän ja puhtaan siirtymän parissa

Metsä, ympäristö ja energia -vahvuusala toimii Mikkelissä ympäristöturvallisuuden ja vesiteknologian lisäksi energia- ja sähkötekniikan sekä metsätalouden alalla. Näihin teemoihin liittyen vuosijulkaisussa on artikkeleita, jotka tuovat esille Xamkin vahvaa roolia osana näiden erittäin ajankohtaisten kehityshaasteiden hallinnassa.

Xamk Mikpolis -tutkimusyksikön artikkelit käsittelevät ajankohtaisia ja puun kilpailukykyä edistäviä ratkaisuja erityisesti rakentamisen alalla. Puumateriaalin pintahiiltämiseen on kasvavaa mielenkiintoa niin sahatavaran kuin kierrätys- ja jätepuunkin osalta. Teollisen hiiltomenetelmän kehittäminen, tuotteiden laadunhallinta sekä ympäristöolosuhteiden kesto ovat tärkeitä alueellisesti ja Suomi-tasolla

edistettäessä tämän uuden puutuotteen leviämistä teollisuuden käyttöön. Lisäksi menetelmälle laajaa kiinnostusta eri puolilla maailmaa.

Puun palosuoja- ja -kemikaalien soveltavassa tutkimuksessa on Xamkilla pitkät perinteet. Palosuojausten pitkäaikaiskestävyys on koko toimialaa kiinnostava haaste, ja toisessa Mikpolis-tutkimusyksikön artikkelissa esitellään tuloksia laajan yritysverkoston kanssa toteutetuista kokeista palosuojausten pitkäaikaiskeston todentamiseksi. Osana kokonaisuutta Xamkissa on myös merkittävästi kehitetty materiaalien palotestauksen edellytyksiä ja otettu käyttöön tutkimuslaitteistoja.

Xamkin Savonlinnan Kuitulaboratorion tutkimustoimintaa esittelevät artikkelit keskittyvät yksikön erikoisosaamisen ja strategian mukaisesti uusiin selluloosatuotteisiin, alan prosessi- ja analyysitekniikkaan sekä ympäristöteknologiaan, erityisesti veden käytön tehostamiseen ja hiilidioksidin hyötykäytön edistämiseen. Soveltavaa tutkimus- ja kehitystyötä on tehty ja tehdään niin alueellisen EU-rahoituksen, Business Finlandin ohjelmärahoituksen kuin kansainvälisen HORIZON-rahoituksen mahdollistamina ajankohtaisista biokiertoalouden haasteista.

Valmetin Beoynd Circularity -VETURI-ohjelmaan liittyvän CEBIPRO-projektin katsaus viitoittaa niitä uusia kuitu- ja kuitutuoteanalyysien tarpeita ja mahdollisuuksia, jotka ovat keskeisiä entistä korkeamman lisäarvon tuotteiden ja niiden valmistusprosessien kehittämisessä sekä kuitupakkausten, filmien ja tekstiilien teollisessa valmistuksessa. Prosessien vesitehokkuuden parantaminen on entistäkin ajankohtaisempi haaste, ja myös tätä aihetta käsitellään omassa artikkelissaan. Kuitulinjan pesuteknologian kehittäminen on jatkuvasti ajankohtainen haaste niin vanhoissa kuin uudemmissakin tehtäissä, ja uusien korkean teknologian mittaus- ja säätöratkaisujen kehittäminen on aihe, jossa Xamk Kuitulaboratorio on saavuttanut jo vuosia sitten merkittävän kansainvälisen roolin.

Osin CEBIPRO-projektiin liittyvä merkittävästi mikrofibrilloidun MFC:n analyttinen, kemiallinen sekä prosessitutkimus. Aihetta esitellään omassa artikkelissaan, ja aiheen kehitystyö jatkuu juuri käynnistyneessä NextGenMix-hankkeessa.

Kansainvälisissä yhteistyöverkostoissa tehtävä tutkimus- ja osaamisen kehittäminen on esillä vuosijulkaisussa IMPRESS-projektin ja New Cotton projektin katsauksissa. IMPRESS-hanketta käsittelevä julkaisu tuo esille eurooppalaisen konseptin jalostaa metsäbiomassaa ja sen eri komponentteja kokonaan uusiksi kemian ja materiaalitekniikan tuotteiksi. Samalla esitellään alan opetuksen kehittämiseksi tärkeitä prosessitekniisiä sisältöjä, joita voidaan hyödyntää uusiutuvan metsäteollisuuden ja biotuotetekniikan koulutuksen kehittämisessä pitkälle tulevaisuuteen.

New Cotton -projektin katsaukset esittelevät ajankohtaisen tekstiilikuidun kiertotalouskäytön mahdollisuuksia ja haasteita kahdesta näkökulmasta. Ensimmäisessä artikkelissa osoitetaan, minkälaisia kuluttajatuotteita ja tekstiilikuituja korkean osaamisen kiertotalousprosessilla on mahdollista toteuttaa ja kuinka niitä on demonstroitu laajan kansainvälisen yhteistyöverkoston ponnistelujen tuloksena. Toisessa artikkelissa paneudutaan syvemmin niihin prosessitekniikoihin, jotka on hallittava, jotta esimerkkinä olevat kuidut ja tuotteet ovat poistotekstiileistä valmistettavissa kuluttajien käyttöön.

Viilutuotteet ja puurakentamisen tuotteet ja teknologiat ovat vahvistumassa merkittävästi Xamk Kuitulaboratorion yhteyteen rakentuneen Teollisen puurakentamisen laboratorion käynnistäessä toimintaansa. Aihepiiriä esitellään vuosijulkaisussa Xamkin ja Aalto-yliopiston Kemiantekniikan korkeakoulujen yhteisen biopohjaisen palosuoja-aineiden mahdollisuuksia käsittelevässä artikkelissa kuitutekniikan ja kemian näkökulmasta. Laboratorion mahdollisuuksia innovatiivisiin kokeiluihin tuodaan esille artikkelissa, joka käsittelee Xamkin ideoimaa massiivipuurakenteista prosessivalvomoa.

Viilutuotteet ovat maakunnallisesti tärkeitä, ja näiden tuotteiden soveltavaan tutkimukseen ja kehitystoimintaan on Xamkissa panostettu useiden vuosien ajan. Näiden tuotteiden ja niiden valmistusprosessien sekä loppukäyttökohteiden kilpailukykyä parantavia ratkaisuja käydään artikkeleissa läpi niin viilutuotteiden innovatiivisen on-line-mittausteknologian kuin osaksi puurakentamisen laboratorion kokonaisuutta muodostuneen testitalokonseptin näkökulmista.

Vihreän ja puhtaan siirtymän prosessi- ja materiaalitekniikat ovat voimakkaan mielenkiinnon kohteina, ja metsäbio- ja kiertotalouden lisäksi Xamk on tehnyt merkittävää kehittämistoimintaa mineraalien käsittely- ja rikastusprosessien innovaatioiden ja ympäristötehokkuuden edistämiseksi. Käytännön kehitysaskleet ja tulokset kohti vihreämpää ja kestävämpää kaivos- ja rikastustoimintaa ovat hienolla tavalla esillä julkaisun artikkelissa, joka perustuu erityisesti vuonna 2022 päättyneeseen Hugger-projektiin. Xamk Kuitulaboratoriolla on aiheeseen liittyvää erityisosaamista ja keksintöjä, ja aihepiirin kehittäminen on jatkuvasti ajankohtainen luonnonvaroja hyödyntävän Itä- ja Pohjois-Suomen kilpailukyvyyn ja ekologisesti kestävästä taloudesta näkökulmista.

Ympäristöturvallisuuden tutkimusavauksia

Xamkin Mikkelin ympäristöturvallisuuden tutkimusryhmä edistää vesistöjen puhautusta ja ravinteiden suljettua kiertoa yhdessä yhteistyökumppaneiden kanssa. Ympäristöturvallisuuden yhteistyöryhmä tekee myös vahvaa yhteistyötä Blue

Economy Mikkeli (BEM) -klusterin ja sen verkostojen kanssa. Vuosijulkaisussa 2023 on artikkeleita Mikkeliissä toteutettavasta ympäristöturvallisuuden, vesi-, bio- ja kiertotalouden alueellisesta, kansallisesta ja kansainvälisestä yhteistyöstä.

Mikkeli oli vuosina 2019–2023 mukana kansainvälisessä CityLoops – Closing the loop for urban material flows -hankkeessa, jossa seitsemän eurooppalaista kaupunkia – Apeldoorn, Bodø, Mikkeli, Porto, Sevilla, Høje-Taastrup ja Roskilde – pilotoivat uusia kiertotalouskokeiluja. Demonstraatiot keskittyivät Euroopan kahdeksan tärkeimpään jätevirtaan: rakennus- ja purkujätteeseen sekä biojätteeseen. Tavoitteena oli vauhdittaa kaupunkien siirtymää kiertotalouteen. Hankkeen toteutuksesta Mikkeliissä vastasivat Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu Xamk ja Mikkelin kehitysyritys Miksei Oy. Hanketta koordinoi saksalainen ICLEI – Local Government for Sustainability, ja se sai rahoitusta Euroopan unionin Horisontti 2020 -tutkimus- ja innovaatio-ohjelmasta (Grant Agreement No. 821033). Hanke vauhditti Mikkelin siirtymistä kiertotalouteen ja loi pysyviä kansainvälisiä kiertotalouden verkostoja alueelle.

Tutkimusryhmän uusimmat alueelliset ja ylimaakunnalliset avaukset keskittyvät muun muassa rakennusmateriaalien uudelleenkäytön parantamiseen, uusien vesiteknologioiden kehittämiseen ja biojätteiden sisältämien ravinteiden talteenoton lisäämiseen.

Vuonna 2023 käynnistyneessä alueellisessa KIELO – Kiertotalousloikka rakennusmateriaalien uudelleenkäytön parantamiseksi Mikkeliissä hankkeessa edistetään purkumateriaalien uudelleenkäyttöä ja kierrätystä. Mikkelin kehitysyritys Miksei Oy:n ja Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulun yhteisessä kokonaisuudessa vahvistetaan alueen yritysten valmiuksia vastata hankintojen kiertotalousvaatimuksiin ja kiertotaloutta edistävään palvelumuotoiluun. Kokonaisuutta rahoittaa Etelä-Savon ELY-keskus (Euroopan unionin osarahoittama).

Vuonna 2023 käynnistyneessä ylimaakunnallisessa AWE – Artic Water Excellence -hankkeessa tavoitteena on edesauttaa uusien teknologioiden kehittymistä sekä niiden pilotointia ja jalkautumista käytäntöön erityisesti vesi-intensiiviseen teollisuuteen sekä vesihuoltosektorille yhteistoiminnassa tutkimuslaitosten, alalla toimivien yritysten sekä teollisuuslaitosten kanssa. AWE on yhteishanke, jonka päätoteuttaja on Savonia-ammattikorkeakoulu, ja sen osatoteuttajia ovat Geologian tutkimuskeskus (GTK), Terveystieteiden tutkimuskeskus (THL), Lappeenranta–Lahden teknillinen yliopisto (LUT), Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu (Xamk), Kajaanin ammattikorkeakoulu (Kamk), Oulun yliopisto ja Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy. Hanketta rahoittaa Pohjois-Savon liitto (Euroopan unionin osarahoittama). AWE-hanke tekee vahvaa yhteistyötä BEM-verkoston yritysten ja muiden tahojen kanssa alueellisesti ja kansallisesti.

Vuonna 2023 ympäristöturvallisuuden tutkimusryhmässä oli käynnissä useampi kansallinen ja kansainvälinen hankekokonaisuus. Uusimmassa kansallisessa Maankäyttösektorin ilmasto-osaamisen koulutusyhteistyö (KOMIO) -hankkeessa tavoitellaan ammattikorkeakoulujen verkostoyhteistyöllä maankäyttösektorin ilmasto-osaamisen vahvistamista. Hankkeen päätoteuttaja on Seinäjoen ammattikorkeakoulu Oy, ja sen osatoteuttajia ovat Lapin ammattikorkeakoulu Oy, Hämeen ammattikorkeakoulu Oy, Jyväskylän ammattikorkeakoulu Oy, Savonia-ammattikorkeakoulu Oy, Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu Oy, Karelia-ammattikorkeakoulu Oy, Oulun ammattikorkeakoulu Oy ja Ab Yrkeshögskolan vid Åbo Akademi.

KOMIO-hankkeessa tavoitteena on kestävään maataloustuotantoon liittyvien ammattikorkeakoulujen TKI-hankkeiden, erityisesti Hiilestä kiinni kokonaisuudesta rahoitettujen hankkeiden tulosten koostaminen ja jalkautus sekä vieminen koordinoitusti AgriHubiin sekä muihin kohderyhmien käyttämiin viestintäkanaviin ja hyödyntäminen sieltä. Hankkeessa on erinomaiset edellytykset oppilaitosten ja tutkijoiden yhteistyölle, sillä mukana olevat ammattikorkeakoulut toteuttavat sekä luonnonvara-alan opetusta että TKI-toimintaa. KOMIO-hanketta rahoittaa maa- ja metsätalousministeriö Hiilestä kiinni -kokonaisuudesta. Hankkeen toteutusaika on 1.8.2023–31.10.2024.

CITYLOOPS VAUHDITTI MIKKELIN KAUPUNGIN SIIRTYMISTÄ KIERTOTALOUTEEN

Vuokko Malk & Hanne Soininen & Juha-Pekka Ontnonen & Johanna Järvinen & Kimmo Haapea & Ilkka Liljander

Mikkeli oli mukana kansainvälisessä CityLoops – Closing the loop for urban material flows -hankkeessa, jossa seitsemän eurooppalaista kaupunkia – Apeldoorn, Bodø, Mikkeli, Porto, Sevilla, Høje-Taastrup ja Roskilde – pilotoivat uusia kiertotalouskokeiluja. Demonstraatiot keskittyivät Euroopan kahteen tärkeimpään jätevirtaan: rakennus- ja purkujätteeseen sekä biojätteeseen. Tavoitteena oli vauhdittaa kaupunkien siirtymää kiertotalouteen. Hankkeen toteutuksesta Mikkeliissä vastasivat Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu Xamk ja Mikkelin kehitysyhtiö Miksei Oy (kuva 1). Hanke alkoi 1.10.2019 ja päättyi 30.9.2023. Hanketta koordinoi saksalainen ICLEI – Local Government for Sustainability, ja se sai rahoitusta Euroopan unionin Horisontti 2020 -tutkimus- ja innovaatio-ohjelmasta (Grant Agreement No. 821033).



KUVA 1. CityLoops-hankkeen toteuttajia koolla Mikkeliissä (kuva Juha-Pekka Ontnonen).

Demonstraatioita rakennus- ja purkujätteen sekä biojätteen kiertotalouden edistämiseksi

Mikkelissä toteutettiin biojätteen sekä rakennus- ja purkujätteen kiertotaloutta edistäviä demonstraatioita. Rakennus- ja purkujätteen demonstraatioissa seurattiin kahden Mikkelin kaupungin purkukohteen, Pankalammen terveyskeskuksen ja Tuukkalan sairaalan, purkuprosessia. Kohteissa kokeiltiin uusia työkaluja materiaalivirtojen seurantaan, kuten purkukartoitusta sekä drone-monitorointia ja 3D-mallinnusta, sekä selvitettiin purkamisen ympäristö- ja terveysvaikutuksia. Kiertotalouden kehittämiseksi järjestettiin useita webinaareja ja työpajoja, luotiin uusia liiketoimintamalleja ja laadittiin hankintaohjeita, jotka edistävät kestävä kehityksen periaatteiden mukaisia hankintoja. (Soininen & Malk toim. 2023)

Mikkelin biojättedemonstraatioiden tavoitteena oli edistää biokaasun ja ravinteiden talteenottoa biojätteestä ja luoda liiketoimintamahdollisuuksia paikallisille yrityksille. Peitsarin pilot-alueella asukkaille jaettiin paperisia biojätepusseja ja tietoa lajittelusta. Lisäksi tehtiin sekajätteen koostumustutkimuksia sekä monitoroitiin sekajätteen ja erilliskerätyn biojätteen määriä. Biojätteen lajitteluun kannustavaa viestintää tehtiin myös laajemmin koko Mikkelin alueella useissa tapahtumissa. Laboratorio- ja pilot-mittakaavan kokeissa tutkittiin muun muassa biohiilen vaikutusta biokaasun määrään ja laatuun ja elektrokemiallista menetelmää fosforin talteenottoon mädätteen nestejakeesta. Lisäksi mädätteille tehtiin rakeistus-, ekotoksisuus- ja kasvatuskokeita. Liiketoimintaedellytyksiä arvioitiin teknistaloudellisen arvioinnin avulla ja kaupungille laadittiin hankintaohjeita kiertotalouden huomioimiseksi julkisissa hankinnoissa. (Soininen & Malk toim. 2023)

Hankkeen tuloksia esiteltiin loppuwebinaarissa 6.9.2023, jossa paikalla oli yli 50 kuulijaa. Tilaisuuden avasi Mikkelin kaupunginjohtaja Janne Laine. Webinaarissa kuultiin myös hankkeen kansainvälisiä tuloksia. Edwin Keijsers (Wageningen University & Research) puhui biojätteen kiertotaloudesta, kierrätyksestä ja siitä, miten eri tavoilla biojätettä voidaan jatkokäyttää ja mitä siitä voidaan valmistaa. Esimerkiksi Apeldoornissa kaupungin puutarhajätteestä valmistettiin bokashia maanparannusaineksi ja jäteperäisestä biomateriaalista valmistettiin filamenttia 3D-tulostukseen. Edwin Keijsers kertoi myös, miten biojätteen kierrätys eroaa eri alueilla sekä mitä demonstraatiokaupungeissa on tehty biojätteen keräyksen edistämiseksi kansalaisten ja yritysten keskuudessa.

Pernille Kernel (Capital Region of Denmark) kertoi rakennus- ja purkujätteiden kiertotalouden kehityksestä Euroopassa ja esitteli hankkeen aikana eri yhteistyökaupungeissa tehtyjä rakennusjätteen kierrätyksen demonstraatiokokeita. Esimerkiksi Roskildessa rakennettiin parkkihalli kierrätysbetonista.

Tilaisuuden kuulijat näkivät biojätteen kiertotalous -esitysten perusteella paljon potentiaalia biotaloudessa, ja hankkeessa on tehty monipuolista ja laajaa työtä. Koettiin kuitenkin, että tarvitaan vielä lisää tutkimusta, valistusta sekä asenne-muutosta.

Rakentamisen ja purkamisen kiertotalous -esitykset herättivät yleisössä rohkaisevia ajatuksia ja toivoa siitä, että käytännönläheisempiä kiertotalousratkaisuja on kehitetty. Koettiin myös, että kiertotalous on kannattavaa liiketoimintaa, joka voi synnyttää paljon uusia työpaikkoja. Kiertotaloudessa on haasteita rakennusala-le, ja oppeja kannattaa hakea maailmalta. Yleisössä ajateltiin, että etenkin beto-nin uudelleenkäytöllä on rakennusmateriaaleista eniten potentiaalia. Lisäksi puu, tiilet ja mahdollisesti myös teräs esimerkiksi kokonaisia metalliovia hyödyntäen koettiin potentiaalisiksi.

Tilaisuuden kuulijoiden vastausten perusteella omassa työssä tai arjessa kiertota-loutta edistetään lajittelemalla jätteet kunnolla ja tekemällä kestäviä valintoja, ku-ten hyödyntämällä hävikkiruokaa ja kierrätettyä tai käytettyä tavaraa. Esimerkiksi vaatteet ja tavarat hankitaan mahdollisuuksien mukaan käytettynä. Tehokkaina edistyskeinoina koettiin myös ylikulutuksen välttäminen käyttämällä kaikki lop-puun asti, laittamalla tavarat kiertoon kierrätyskeskusten kautta sekä hyödyntä-mällä kirpputoreja ja korjaus- ja vuokrauspalveluita. Lisäksi edistyskeinona koettiin työkalujen sekä uusien kiertotalous- ja kehityshankkeiden toteuttaminen yrityk-sille ja kunnille.

Mikkelin demonstraatioiden tuloksia on esitelty tarkemmin hankkeen loppujul-kaisussa (<https://urn.fi/URN:ISBN:978-952-344-541-3>). Hankkeen kansainväliset tulokset on koottu www.cityloops.eu-sivustolle.

Materiaalikiertojen tutkimuksella parempaa päätöksentekoa mikkelin kiertotalouden kehittämiseksi

CityLoops-hankkeessa kehitettiin kaupunkien materiaalikiertoja, jotta eri materi-aalit kiertäisivät kaupungeissa mahdollisimman resurssitehokkaasti ja kestävästi. Demonstraatiokaupungeissa toteutettiin kaupunkien kiertotalouden arviointi (Ur-ban Circularity Assessment, UCA). Menetelmässä arvioitiin kiertotalouden kehitys-tä materiaalivirtojen laskennan ja indikaattoreiden avulla vertailemalla tilannetta kahdelta eri vuodelta.

Mikkelin osalta tutkittiin materiaalivirtoja vuosilta 2015 ja 2019. Materiaalitutkimus-ta ja laskentaa tehtiin kuudessa eri materiaaliryhmässä: biomateriaalit, metallit, ei

metallia sisältävät mineraalit, fossiiliset polttoaineet, muut materiaalit sekä jätteet ja jätteenkäsittely.

UCA-tarkastelun tulokset osoittivat, että Mikkeli on materiaalivirroiltaan vielä hyvin lineaarinen kaupunki. Iso osa kaupungin materiaalinkulutuksesta on kuitenkin paikallisesti tuotettua, joten materiaalia tuodaan tai viedään kaupungista vähän. Suurin osa tuontimateriaaleista on fossiilisia energiamateriaaleja/-tuotteita (84 %), kun taas vienti on pääasiassa biomassamateriaaleja (71 %), kuten puuta, puupohjaisia materiaaleja ja viljaa. Paikallinen materiaalinkulutus on huomattavaa, mikä osoittaa, että kaupunki on kohtalaisen omavarainen. Myös kasvihuonekaasupäästöt ovat näin ollen vähäisemmät, koska materiaalikuljetuksia tarvitaan vähemmän.

Orgaanisen aineksen ja biojätteen hallinnan suhteen Mikkeli on saavutettu hienoa kehitystä. Kaupunki on investoinut biojalostamoon, jossa orgaaninen aines käsitellään kuivamädätyksellä biokaasuksi. Paikallisen biopolttoaineen tuottaminen on lisännyt omavaraisuutta ja samalla edistänyt ympäristöystävällisemmän polttoaineen käyttöä muualta tuodun fossiilisen polttoaineen sijasta.

Biotaloutta tulisi edelleen kehittää Mikkeli. Kaupungissa toimii noin 480 maatilaa ja maatalouskäytössä on noin 12 747 hehtaaria maatalousmaata. Tämä tarjoaa mahdollisuuden kehittää biotaloutta hyödyntäen eläinten lantaa sekä elintarvikkeiden ja rehun alkutuotannon sivuvirtoja esimerkiksi biokaasutuotannon syötteinä. Toisaalta on nähty, että tämä konsepti on haastava saada toimimaan liiketaloudellisesti kannattavasti.

Suuri osa Mikkeliä kiertävästä materiaalista on pitkäaikaisesti kiinni kaupungin rakennuksissa. Rakennusten kokonaismäärä vuonna 2022 oli noin 53 000 eli noin yksi rakennus asukasta kohden, ilmenee kiinteistörekisteristä. Suurin osa (90 %) rakennuksista on puurakenteisia. Mikkeli on yksi Suomen suurimpia vapaa-ajan asumisen kuntia, ja loma-asunnot on perinteisesti valmistettu alueella puusta. Vaikka puurakennuksia on paljon, ne ovat yleensä kooltaan ja massaltaan pieniä. Betonia ja tiiltä käytetään usein suuremmissa rakennuksissa, ja nämä materiaalmäärät ovat massaltaan kaupungin suurimmat.

UCA-tutkimuksen tulokset antavat käsityksen Mikkelin materiaalivirroista sekä materiaalien käytöstä ja kierrosta kaupungin sisällä. Tietoja voidaan hyödyntää tulevaisuudessa kaupungin päätöksenteossa tavoiteltaessa kestävämpää kehitystä materiaalikiertotalouden osalta. Tarkastelun pohjalta nousi esiin myös joitakin kehitysehdotuksia.

Rakennuskannan ylläpito on tärkeässä roolissa

Kiertotalouden näkökulmasta tärkeä strategia olisi rakennuskannan ylläpitämisen mahdollisimman hyvässä kunnossa. Jos tämä ei olisi mahdollista, tulee pyrkiä ensisijaisesti materiaalien tai kokonaisten elementtien uudelleenkäyttöön. Jos oletetaan, että rakennusten elinkaari olisi noin 50 vuotta, ennen vuotta 1980 rakennettujen rakennusten sisältämät materiaalit ovat pian nykyisen käyttötarkoituksensa päässä. Näitä materiaaleja voitaisiin hyödyntää yhä tehokkaammin uuden rakentamisen materiaalitarpeiden tyydyttämiseksi. Näin ollen rakennusten voitaisiin ajatella olevan merkittävä ”materiaalivarasto” tulevia käyttötarpeita varten.

Rakennuksissa käytettävä puumateriaali on kasvamisvaiheessaan sitonut ja varastoinut itseensä hiilidioksidia. Tämän takia puumateriaalia pidetään niin sanottuna hiilensitojana. Kun puita korjataan ja käytetään rakentamiseen, niihin varastoitunut hiili on sitoutuneena rakennukseen sen koko elinkaaren ajan. Siksi pääasiassa puusta rakennetut rakennukset ovat hiilensidonnan ja ympäristöystävällisyyden kannalta optimaalisia. Mikkeliässä on edelleen paljon määrittelemätöntä rakennusmateriaalimassaa. Tulevaisuuden hyötykäyttöä ja kaupunkisuunnittelua varten olisi hyvä päivittää näitä tietoja, jotta saataisiin tarkempi kuva näistä rakennuksista ja niiden materiaaleista.

Käytetyille materiaaleille oma keskus

Mikkeliässä voitaisiin kokeilla niin sanottua käytettyjen materiaalien keskusta, johon kerättäisiin rakennuksista saatavia kierrätettäviä materiaaleja ja elementtejä uudelleenkäyttöä tai materiaalikäyttöä varten. Näitä materiaaliresursseja voisi hyödyntää erityisesti ulkorakentamisessa, jossa sen käyttö olisi turvallisempaa. Näin voitaisiin vähentää neitseellisten materiaalien käyttöä rakennuskäytössä sekä vähentää rakennus- ja purkujätteen syntymistä.

Tutkimuksesta saatua tietoa voitaisiin jatkossa hyödyntää myös Mikkelin omassa kiertotalouden tiekartassa. Tiekartan avulla voitaisiin parantaa kaupungin materiaali-kiertotaloutta organisoidusti ja tavoitteellisesti ja seurata sen kehitystä yhä paremmin. Kunnan päätöksenteon kannalta tarvitaan ajankohtaista ja luotettavaa tietoa, jotta päättäjät voisivat tehdä yhä kestävämpiä ratkaisuja kaupungin ympäristön ja vihreän siirtymän osalta.

LÄHTEET

Soininen, H. & Malk, V. (toim.) 2023. CityLoops – Kiertotaloutta edistämässä kansainvälisesti. Xamk Kehittää 221. ISBN 978-952-344-541-3. <http://www.theseus.fi/handle/10024/808143>.

UUSIA RATKAISUJA PURKAMISEN KIERTOTALOUTEEN

Salla Pulliainen & Hanne Soininen & Kimmo Haapea
& Jenina Luotolampi

KIELO – Kiertotalousloikka rakennusmateriaalien uudelleenkäytön parantamiseksi Mikkelissä -hankkeessa edistetään purkumateriaalien uudelleenkäyttöä ja kierrätystä. Mikkelin kehitysyritys Miksei Oy:n ja Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulun yhteisessä kokonaisuudessa vahvistetaan alueen yritysten valmiuksia vastata hankintojen kiertotalousvaatimuksiin ja kiertotaloutta edistävään palvelumuotoiluun. KIELOssa kehitetään purkamisen, rakentamisen ja suunnittelun hankintakäytäntöjä sekä toteutetaan Mikkelin seudulla uusien kiertotalousratkaisujen kokeiluja (kuva 1). KIELO-hankkeen toteutusajankaus on 1.5.2023–30.4.2025, ja sitä rahoittaa Etelä-Savon ELY-keskus (Euroopan unionin osarahoittama).



KUVA 1. KIELO-hankkeessa kehitetään purkumateriaalien uudelleenkäyttöä (kuva Manu Eloaho).

Kiertotalousperiaatteet osaksi hankintoja

KIELO-hankkeen tavoitteena on käynnistää ja kehittää uusia rakentamisen kiertotalouden palveluja Etelä-Savon alueella sekä vakiinnuttaa julkisten toimijoiden kiertotaloutta edistäviä hankintakäytäntöjä. Uusiin käytäntöihin siirtyminen edellyttää demonstraatioita ja kokeiluja, joilla osoitetaan vaihtoehtoisia toimintatapoja ja selvitetään niiden kannattavuutta ja vaikutuksia. Osana vastuullisempien toimintatapojen kehittämistä selvitetään myös purkamisesta aiheutuvia ympäristövaikutuksia.

Alueen purkukohteissa toteutetaan demonstraatioita, joiden avulla tuotetaan käytännön esimerkkejä purkamisen ja rakentamisen kiertotalousratkaisusta. Kokeiltavat ratkaisut liittyvät muun muassa sisäpurun kehittämiseen ja purkuosien uudelleenkäytön kokeiluihin. Kokeiluissa otetaan huomioon purkukohteiden materiaalien haitallisten aineiden nykyistä kattavampi tunnistaminen ja erottelu muusta jätteestä, purkuosien uudelleenkäytön suunnittelu osana samanaikaista uudisrakentamista sekä kierrätysmassojen käyttö maarakentamisessa. Käytännön esimerkit ja uusien digitaalisten menetelmien hyödyntäminen tukevat siirtymistä kestävämpiin menetelmiin niin purku- kuin rakennusalallakin.

Tarkastelussa raskaspurusta aiheutuvat ympäristövaikutukset

Rakennus- ja purkutyömaiden aiheuttamista ympäristövaikutuksista on vielä rajallisesti tietoa saatavilla. Purkutyömaalta kulkeutuvat hulevedet voivat sisältää huomattavia määriä kiintoainetta ja muita purkamistoimintaan liittyviä jätteitä ja epäpuhtauksia. Kiintoainepitoisten hulevesien kulkeutuminen voi aiheuttaa haittoja ja kustannuksia niin työmaalla kuin ympäröivässä kaupunkirakenteessakin esimerkiksi hulevesiverkostoille, lähiluonnolle ja vesistölle. Vesistöissä kiintoaine ja sen mukana kulkeutuvat ravinteet voivat aiheuttaa muun muassa pH-muutoksia ja rehevöitymistä. KIELO-hankkeessa purkutyömaan työmaavesien laatua ja niiden vaikutuksia hulevesiin ja ympäristöön selvitetään tarkemmin. Raskaspurusta aiheutuvia ympäristövaikutuksia todennetaan seuraamalla työmaalta peräisin olevien hulevesien laatua sekä purkutyömaalta lähiympäristöön mahdollisesti leviävää pölyä.

Droonit tiedonkeräyksen tukena

Purkukohteissa muodostuvien materiaalien tunnistamiseen ja määrien arviointiin on olemassa uusia tekniikoita, joita rakennus- ja purkutyömailla ei vielä

hyödynnetä. Eri kameratekniikoiden hyödyntäminen materiaalien tunnistamisessa ja 3D-mallinnuksen hyödyntäminen materiaalien tilavuusmittauksissa on uutta teknologiaa purkualalla. Uusien teknologioiden käyttö purkamisen seurannassa ja dokumentoinnissa nopeuttaa materiaalivirtojen määrien arviointia ja hallintaa sekä kierrätyksen ja uudelleenkäytön suunnittelua.

Purkubetonin uudelleenkäytön kokeilut

KIELO-hankkeessa toteutetaan laboratoriomittakaavan kokeita purkubetonin uudelleenkäytön edistämiseksi. Testien avulla saadaan uutta tietoa purkubetonin hyödyntämisestä ja uusiobetonin valmistuksesta Suomen olosuhteissa.

Purkubetonin ohella etsitään hyödyntämiskohteita myös betonin hienojakeelle sekä selvitetään betonirakenteiden ja tiilien uudelleenkäyttömahdollisuuksia kelpoistamiskäytännön osalta. Selvityksissä otetaan huomioon muun muassa uudelleenkäytön hiilijalanjälki ja kustannusvaikutukset. Selvitykset purkubetonin hyödyntämisestä uusiobetonin valmistuksessa edistävät ison mittakaavan tuotantoa.

Tuloksena kestävämpiä menetelmiä purku- ja rakennusteollisuuteen

Toimenpiteiden tuloksena purkamisen hankintakäytäntöihin ja kiertotalousratkaisuihin saadaan uudenlaisia toimintamalleja päättäjille, kunnille ja rakennusalalle. Alueen purkukohteissa toteutetaan käytännön esimerkkejä purkumateriaalien uudelleenkäytöstä, kierrätyksestä ja uusista palvelukonsepteista. Tuloksena saadaan uutta tietoa rakennetun ympäristön kiertotaloutta vauhdittavien toimenpiteiden päästövaikutuksista ja kustannuksista perinteiseen toimintaan verrattuna. Lisäksi saadaan tietoa purkutyömaan aikaisista ympäristövaikutuksista ja uusista tekniikoista materiaalivirtojen seurannassa. Tuotettu tieto edistää ympäristövaikutusten hallintaa esimerkiksi huomioimalla päästöjä vesiin ja ilmaan.

KIELO-hankkeeseen osallistuvat yritykset saavat osaamista ja referenssejä purkuosien ja materiaalien uudelleenkäyttöön tai kierrätykseen perustuvista palveluista. Tulokset parantavat rakennusalan ja suunnitteluyritysten kiertotalousosaamista ja valmiuksia vastata kiertotalouskriteerien vaatimuksiin tarjouskilpailuissa.

AWE – ARTIC WATER EXCELLENCE

Niina Laurila & Hanne Soininen & Eveliina Repo

AWE – Artic Water Excellence -hankkeen tavoitteena on edesauttaa uusien teknologioiden kehittymistä sekä niiden pilotointia ja jalkautumista käytäntöön erityisesti vesi-intensiiviseen teollisuuteen sekä vesihuoltosektorille yhteistoiminnassa tutkimuslaitosten, alalla toimivien yritysten sekä teollisuuslaitosten kanssa (kuva 1). Toiminnalla pyritään osaltaan edistämään uusien innovaatioiden sekä uuden liiketoiminnan muodostumista alalle tukien näin muun muassa alalla toimivien pk-yritysten kasvua ja kilpailukykyä.

AWE on yhteishanke, jonka päätoteuttaja on Savonia-ammattikorkeakoulu, ja sen osatoteuttajia ovat Geologian tutkimuskeskus (GTK), Terveyden ja hyvinvoinnin laitos (THL), Lappeenrannan–Lahden teknillinen yliopisto (LUT), Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu (Xamk), Kajaanin ammattikorkeakoulu (Kamk), Oulun yliopisto ja Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy. Hanketta rahoittaa Pohjois-Savon liitto (Euroopan unionin osarahoittama). Hankkeen toteutusaika on 11.12.2023–31.12.2025.



KUVA 1. AWE-hankkeessa edistetään vesienhallintaa (kuva Manu Eloaho).

Awe-hankkeella vahvistetaan vesiosaamista Itä- ja Pohjois-Suomen alueella

Vesiosaaminen on tunnistettu yhdeksi Itä- ja Pohjois-Suomen yhteiseksi vahvuusalaksi. Kahdeksan organisaation yhteisessä AWE-hankkeessa toteutetaan Itä- ja Pohjois-Suomen yhteisen älykkään erikoistumisen strategian valintoja, jotka ovat: puhtaat teknologiat ja vähähiiliset ratkaisut, ICT ja digitalisaatio, innovatiiviset teknologiat ja tuotantoprosessit. AWE-hankkeen koordinoitulla alueellisella erikoistumisella ja profiloituneella yhteistyöllä vahvistetaan vesiosaamista Itä- ja Pohjois-Suomen alueella. Toiminnalla pyritään edistämään uusien innovaatioiden sekä uuden liiketoiminnan muodostumista alalle tukien näin muun muassa alalla toimivien pk-yritysten kasvua ja kilpailukykyä.

AWE-hankkeessa edistetään yhteistoiminnassa tutkimuslaitosten, alalla toimivien yritysten sekä teollisuuslaitosten toimesta uusien teknologioiden kehittymistä sekä niiden testausta ja käyttöönottoa. Nämä luovat pohjan alueiden kilpailukykyyn parantamiselle sekä edistävät kestäväää vesitaloutta kehittämällä innovatiivisia ratkaisuja vesivarantojen hallintaan sekä vesien käyttöön ja suojeluun. Kaikki tämä tukee alueiden elinkeinojen kehitystä. Yhteistyö kahdeksan organisaation välillä vahvistaa merkittävästi vesialan kansallista verkostoitumista ja mahdollistaa laaja-alaisen ylimatekunnallisen toiminnan.

Yhdyskuntavesien kiertotaloutta edistämässä Mikkelissä

Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu ja Lappeenrannan–Lahden teknillinen yliopisto toteuttavat yhdessä AWE-hankkeen työpakettia ”yhdyskuntavesien kiertotalous”. Työpaketti koostuu neljästä osatehtävästä:

- Yhdyskuntien jätevesien monitorointi ja haitta-aineiden poiston uudet teknologiat
- Hulevesien käsittelyn demonstraatiot
- Uusiovesi osana kiertotaloutta
- Viestintä ja verkostoyhteistyö.

Työpaketin case-kohteina toimivat Mikkelin uusi jätevedenpuhdistamo sekä Mikkelissä sijaitseva hulevesien käsittelyn TKI-ympäristö. AWE-hanke kytkeytyy myös osaksi EcoSairila-hankekokonaisuutta sekä Mikkelin kaupungin ja Suomen valtion (TEM) välillä solmittua yhdyskuntavesien käsittelyyn ja kiertotalouteen keskittyvää innovaatiotoiminnan ekosysteemisopimusta vuosille 2021–2027.

Yhdyskunnan jätevesien käsittelyssä on tunnistettu useita jätevedenpuhdistukseen sekä yhdyskuntavesien kiertotalouteen liittyviä geneerisiä haasteita, joihin kaivataan uusia ratkaisuja. Uusilla ratkaisuilla pyritään tehostamaan jätevesien käsittelyä ja ympäristövaikutusten hallintaa sekä varmistamaan kiertotalouteen perustuvan jätevedenkäsittelyn toimintaedellytyksiä. Samalla luodaan edellytyksiä uusien innovaatioiden, palveluiden sekä tuotteiden muodostumiselle Itä- ja Pohjois-Suomen alueelle vesiosaamiseen sekä kiertotalouden ratkaisuihin pohjautuen.

Yhdyskuntien jätevesien monitorointi ja haitta-aineiden poiston uudet teknologiat

Etelä-Savossa toteutettavien monitorointien ja pilotointien tuloksena saadaan uutta tietoa erilaisten jätevesilaitosten haitta-aineiden pitoisuuksista ja käsittelymenetelmien toimivuudesta. Tuloksien pohjalta kirjoitetaan myös suosituksia prosessien vähähiilisyden edistämiseksi.

AWE-hankkeen tuloksena saadaan uusia ratkaisuja haitta-aineiden poistamiseen jätevesistä. Ratkaisut ovat tehostettu biologinen puhdistus ja katalyysiin perustuva käsittely. Erityisesti saadaan myös uutta tietoa ja osaamista 3D-tulostuksen hyödyntämisestä vedenpuhdistuslaitteistojen suunnittelussa ja rakentamisessa.

Hulevesien käsittelyn demonstraatioita ja uusioveden käyttövalmiuksia osana kiertotaloutta

AWE-hankkeen tuloksena saadaan uutta tietoa suodatusmateriaalien tehokkuudesta hule- ja suotovesien ravinteiden ja haitta-aineiden vähentämiseksi. Tuloksena syntyy uusia ratkaisuja huleveden tehokkaampaan puhdistukseen. Erityisesti saadaan tietoa uusista menetelmistä, joissa yhdistyvät biologinen vedenpuhdistus ja katalyyttinen orgaanisten haitta-aineiden poisto. Testauksia toteutetaan Xamin Vesikko-demonstraatioympäristössä (ympäristö saanut rahoitusta Etelä-Savon maakuntaliitosta, Euroopan aluekehitysrahastosta, Deve-hanke).

AWE-hankkeen tuloksena saadaan uutta tietoa muun muassa uusioveden käyttökohteiden teknisistä vaatimuksista veden laadulle ja niiden teknistaloudellisuudesta. Lisäksi saadaan selvitys uusioveden hyödyntämismahdollisuuksista vesi-intensiivisillä toimialoilla pilot-alueella EcoSairilassa.

TIELIIKENTEESSÄ SYNTYVÄN MIKROMUOVIN MÄÄRÄN ARVIOINTI HANHIJOEN VALUMA-ALUEELLA

Tuija Ranta-Korhonen

Kaupunkialueiden rooli mikromuovipartikkelien syntymisessä ja niiden päätyemisessä vesistöihin on merkittävä. Mikromuoveja syntyy kaupungeissa sekä liikenteen että roskaamisen seurauksena, ja niitä päätyy vesistöihin esimerkiksi hulevesien mukana. Mikkelin kaupunkialueella on useita pienvesistöjä, jotka ovat merkittäviä niin kaupunkikuvallisesti kuin virkistykseen kannalta. Yksi Mikkelin kaupunkialueen läpi kulkevista virtavesistä on Seitsenniminen joki. Nimensä mukaisesti joella on matkallaan syntylähteeltään purkuvesistöön seitsemän eri nimeä, esimerkiksi Siekkilänjoki, Pankajoki, Hanhijoki sekä Emolanjoki. Joella ja sen vedenlaadulla ja etenkin Hanhijoki-nimisellä osuudella on merkitystä kaupungin talousveden tuotannossa, sillä Mikkelin keskustaajaman toinen vedenottamo sijaitsee Hanhikankaan pohjavesialueella, jonka läpi Hanhijoki virtaa. Tässä artikkelissa on arvioitu Hanhijoen valuma-alueella tieliikenteessä syntyvän mikromuovin määrää erilaisten tilastollisten aineistojen sekä kartta-aineistojen avulla.

Tieliikenteen mikromuovit

Tieliikenteen mikromuovipäästöt koostuvat sekä renkaiden kulumisesta syntyvistä mikropartikkeleista että tiemerkintöihin käytetyn muovin haurastumisesta säänvaihteluista ja renkaiden aiheuttamasta mekaanisesta kulumisesta johtuen. (Kole ym. 2017, 2.) Suomessa tieliikenteen rengaskuluman on arvioitu tuottavan vuosittain 5 348–10 528 tonnia mikromuovipäästöjä. Tiemerkintömassojen tai -maalien määrää ei toistaiseksi ole arvioitu. (Setälä & Suikkanen 2020, 9.) Asukaskohtaisen rengaskuluman aiheuttaman mikromuovin määrän Suomessa on arvioitu olevan 1,0–1,9 kg vuodessa (Setälä & Suikkanen 2020, 70).

Renkaiden kulumisesta syntyvien mikromuovipartikkelien kokojakaumaa on tutkittu laboratorio-oloissa, mutta syntyvien partikkelien massaa on vaikea selvittää tällä tavoin. Niinpä massaa on arvioitu esimerkiksi eri maiden rengaskierrätystilastojen avulla. Tällöin on verrattu uusien renkaiden ja kierrätykseen palautuneiden renkaiden välistä painoeroa ja suhteutettu se kyseisen maan vuotuisen tilastoituun

ajosuoritteeseen (Kole et al. 2017, 8). Renkaiden kulumaa on arvioitu myös kaupunkiolosuhteissa mittaamalla tietyn ajoneuvojoukon renkaiden kuvion syvyyttä säännöllisesti (Liu et al. 2022).

Vuonna 2017 julkaistun koontiartikkelin mukaan (Magnusson ym. 2016) Ruotsissa on arvioitu syntyvän vuosittain 13 328 tonnia rengaskumipartikkeleita ja henkilöauton tuottaman partikkelimäärän on arvioitu olevan 50 mg/km kaikki tietyypit huomioiden. Bussien ja raskaan kuljetuskaluston renkaista irtoavan kilometrikoh-taisen mikromuovimäärän on arvioitu olevan 700 mg/km. Tämä johtuu luonnol-lisesti raskaan kaluston ajoneuvojen suuremmasta painosta. (Kole ym. 2017, 6.)

Norjassa ja Tanskassa tehdyssä tutkimuksessa puolestaan on hyödynnetty YK:n alaisen UNECE:n (United Nations Economic Commission for Europe) epävirallista työpaperia, jonka mukaan henkilöautojen renkaiden kuluminen on noin 33 mg/km rengasta kohti ja raskaan ajoneuvon puolestaan 178 mg/km. Jos oletetaan, että ajoneuvossa on neljä rengasta, saadaan henkilöauton renkaiden yhteenlasketuksi kulumaksi 132 mg/km ja raskaan liikenteen puolestaan 712 mg/km. (UNECE 2013)

Kaupunkialueella renkaista irtoaa enemmän mikromuovia kuin haja-asutusalu-eiden tiealueilla tai valtateillä. Tämä johtuu kaupunkialueen liikenteen ominais-piirteistä eli ajoneuvojen jarruttamisesta ja kiihdyttämisestä. (Kole ym. 2017, 7) Tieliikenteen mikromuovit päätyvät vesistöihin lumenkaatopaikkojen sulamisve-sien, huleveden sekä pintavaluman kautta. Pienimmät hiukkaset voivat päätyä vesistöihin myös ilmakulkeutmana. (Setälä & Suikkanen 2020, 9) Ilmakulkeuman on kuitenkin arvioitu olevan vähemmän kuin 5–10 prosenttia kokonaispartikkeli-määrästä (Österlund ym. 2023, 4).

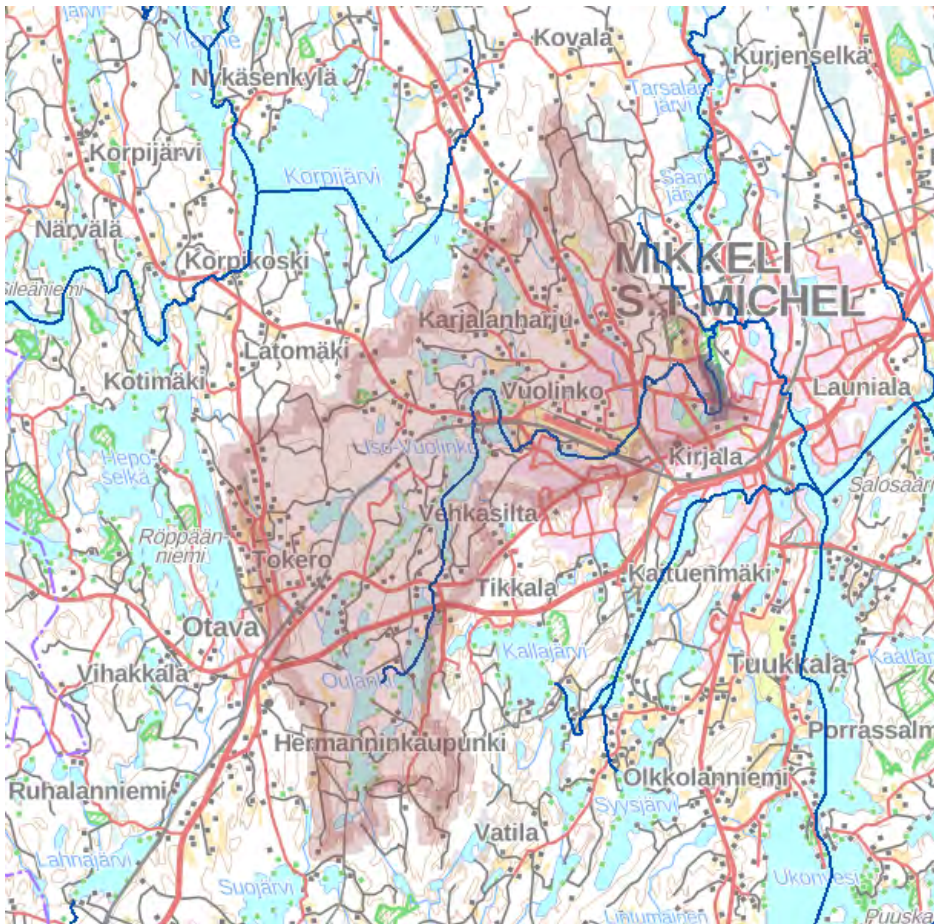
Renkaiden valmistuksessa käytetään nykyään luonnon- ja synteettisen kumin se-koitusta, johon lisätään erilaisia kemikaaleja ja hiilimustaa. Vaikka renkaat siis valmistetaan kumista, luetaan niistä kulumisen myötä irtoavat partikkelit osaksi mikromuoveja. (Kole ym. 2017, 3) Kun renkaat ovat vuorovaikutuksessa tienpinnan kanssa, altistuvat ne hankaukselle ja lämmölle. Nämä tekijät muuttavat rengasku-min fysikaalisia ja kemiallisia ominaisuuksia ja saavat muovipartikkelit reagoimaan tiepölyn ja asfaltista irtoavan bitumin kanssa. Tämä puolestaan kasvattaa muovi-partikkelien massaa, mikä osaltaan vaikuttaa niiden käyttäytymiseen vesistöissä. (Österlund ym. 2023, 5)

Syntyneet mikromuovit kerääntyvät muun muassa tiealueille, tietä reunustavil-le viherkaistoille, hulevesien käsittelyrakenteisiin ja pintamaahan ja voivat siir-tyä eteenpäin hulevesien ja pintavaluman mukana (Österlund ym. 2023, 3). Rengaskumia sisältävien partikkelien on todettu olevan enimmäkseen vettä ras-kaampia, eli hulevesien mukana kulkeutuessaan ja vesistöön päätyessään ne

todennäköisemmin laskeutuvat vesistöjen pohjaan (Setälä & Suikkanen 2020, 68). Alankomaissa tehdyssä tutkimuksessa on arvioitu, että kokonaisuudessaan noin 12 prosenttia tieliikenteessä syntyneestä mikromuovista päätyy lopulta vesistöihin. (Kole ym. 2017, 17) Ranskassa tehdyssä tutkimuksessa puolestaan on arvioitu, että vesistöihin päätyy noin 20 prosenttia syntyneestä mikromuovista (Unice ym. 2019, 1656).

Hanhijoen valuma-alue

Hanhijoki on osa Vuoksen vesistöalueeseen kuuluvaa Seitsemnimistä jokea. Seitsemniminen joki saa alkunsa Mikkelin Otavassa sijaitsevasta Iso-Kirveslamasta ja laskee Saimaan Savilahteen Mikkelin keskusta-alueen läheisyydessä. Hanhijoen valuma-alue on pinta-alaltaan noin 63 km² (VALUE). Joen pituus on noin 20 kilometriä (Kosonen ym. 2020). Kuvassa 1 on nähtävillä Hanhijoen valuma-alue.



KUVA 1. Hanhijoen valuma-alue (kuva VALUE s.a.).

Hanhijoen valuma-alueen läpi kulkee kaksi valtatietä eli valtatie 5 (Vt 5) ja valtatie 13 (Vt 13), lisäksi alueen läpi kulkee Vanha Otavantie (yhdystie 15105), Vanha Kangasniementie (yhdystie 15209) sekä yhdystie 15208. Nämä ovat alueen suurimmat tiet (Väylävirasto 2023). Kyseisten teiden valuma-alueen sisällä olevien osuuksien pituudet on esitetty taulukossa 1.

TAULUKKO 1. Hanhijoen valuma-alueella kulkevat suurimmat tiet ja tieosuuksien pituudet valuma-alueella (Järviwiki, Väylävirasto, Karttaselain).

Tien nimi ja nro	Pituus valuma-alueella (km)
Vt 5	4,5
Vt 13	6,5
Vanha Otavantie 15105	9
Vanha Kangasniementie 15209	4,3
Yhdystie 15208	6,3

Lisäksi alueen läpi kulkee useita pienempiä teitä ja katuja. Kokonaisuudessaan Corine 2012 -laskenta-aineiston mukaan Hanhijoen valuma-alueen pinta-alasta asuinalueet kattavat noin viisi prosenttia, teollisuuden, palvelun ja liikenteen alueita on 6,1 prosenttia, virkistysalueita 2,5 prosenttia, viljelysmaita 4,5 prosenttia ja erilaisia metsämaita hieman yli 79 prosenttia alueesta (VALUE).

Liikennemäärät Hanhijoen valuma-alueen suurilla teillä

Suurin liikennemäärä valuma-alueen läpi kulkevilla teillä on Valtatie 5:llä, jolla kulkee 9 867 ajoneuvoa vuorokaudessa. Seuraavaksi suurin liikennemäärä on Vt 13:lla, jonka valuma-alueella sijaitsevilla eri osuuksilla kulkee 5 447 ja 2 741 ajoneuvoa vuorokaudessa. Väyläviraston karttapalvelun mukaiset liikennemäärät Hanhijoen valuma-alueen läpi kulkevilla suurilla teillä on esitetty taulukossa 2 (Väylävirasto 2023).

TAULUKKO 2. Liikennemäärät Hanhijoen valuma-alueen läpi kulkevilla suurilla teillä (Väylävirasto 2023).

Tien nimi ja nro	Pituus valuma-alueella (km)	Liikennemäärät (ajoneuvoa/vrk)
Vt 5	4,5	9 867
Vt 13	6,5	5 447, 2 741*
Vanha Otavantie 15105	9	2 296
Vanha Kangasniementie 15209	4,3	348
Yhdystie 15208	6,3	947

* Osuus Otavankadun liikenneympyrä - Savilahdenkadun liittymä pituus 1 km, liikennemäärä 5 447, tämän jälkeen ajoneuvomäärä/vrk on 2 741

Tieliikenteestä syntyvän mikromuovin määrän arviointi hanhijoen valuma-alueella

Väyläviraston tietojen mukaan Vt 5:n tieosuudella välillä Hurus–Hietanen raskaan liikenteen osuus on noin kymmenen prosenttia (Väylävirasto 2023). Laskennassa on hyödynnetty tätä arviota. Väyläviraston vuoden 2018 tietojen mukaan Vt 13:lla välillä Lappeenranta–Mikkeli raskaan liikenteen osuus on 9–18 prosenttia. Tässä laskennassa raskaan liikenteen osuutena päätettiin käyttää kyseisten arvojen keskiarvoa 13,5 prosenttia (Väylävirasto 2018).

Taulukossa 3 esitetystä laskennasta on hyödynnetty UNECE:n arvioita renkaiden kilometrikohtaisesta kulumisesta, mikä on henkilöautojen osalta 33 mg/km/rengas ja raskaan liikenteen osalta 178 mg/km/rengas. Laskennassa on oletettu, että ajoneuvossa on neljä rengasta. Todellisuudessa raskaan liikenteen ajoneuvojen rengasmäärä on merkittävästi suurempi. Laskennan tulokset on esitetty taulukossa 3.

TAULUKKO 3. Syntyvän mikromuovin määrä Hanhijoen valuma-alueen isoilla teillä. Renkaiden kuluman arviointi UNECE:n mukaan.

Tien nimi ja nro	Pituus valuma-alueella (km)	Liikennemäärät (ajoneuvoa/vrk)	Mikromuovi mg/km/ajoneuvo	Syntyneen mikromuovin määrä kg
Vt5, henkilöautot	4,5	8 880	132	1 925,27
Vt5, raskas liikenne	4,5	987	712	1 154,26
Vt13, henkilöautot*	1	4 714	132	227,12
Vt13, raskas liikenne*	1	736	712	191,27
Vt13, henkilöautot**	5,5	2 136	132	566,02
Vt13, raskas liikenne**	5,5	334	712	477,40
Vanha Otavantie 15105	9	2 296	132	995,59
Vanha Kangasniementie 15209	4,3	348	132	72,10
Yhdystie 15208	6,3	947	132	287,45

*Otavantie–Vt13 liikenneympyrä – Savilahdenkadun liittymä

5 896,47

** Savilahdenkadun liittymä – valuma-alueen ulkoraja

Taulukossa 4 on esitetty samoihin tieosuuksien pituuksiin sekä liikennemääriin perustuva laskenta. Renkaiden kulumana on kuitenkin käytetty Ruotsissa tehdyn tutkimuksen tuloksia. Tulosten mukaan henkilöauton kilometrikohtainen rengaskuluma on 50 mg ja raskaan liikenteen 700 mg.

TAULUKKO 4. Syntyvän mikromuovin määrä Hanhijoen valuma-alueen isoilla teillä. Renkaiden kuluman arviointi Magnussonin ym. (2016) mukaan.

Tien nimi ja nro	Pituus valuma-alueella (km)	Liikennemäärät (ajoneuvoa/vrk)	Mikromuovi mg/km/ajoneuvo	Syntyneen mikromuovin määrä kg
Vt5, henkilöautot	4,5	8880	50	729,27
Vt5, raskas liikenne	4,5	987	700	1134,80
Vt13, henkilöautot*	1	4714	50	86,03
Vt13, raskas liikenne*	1	736	700	188,05
Vt13, henkilöautot**	5,5	2136	50	214,40
Vt13, raskas liikenne**	5,5	334	700	469,35
Vanha Otavantie 15105	9	2296	50	377,12
Vanha Kangasniementie 15209	4,3	348	50	27,31
Yhdystie 15208	6,3	947	50	108,88

*Otavantie--t13 liikenneympyrä – Savilahdenkadun liittymä

3335,21

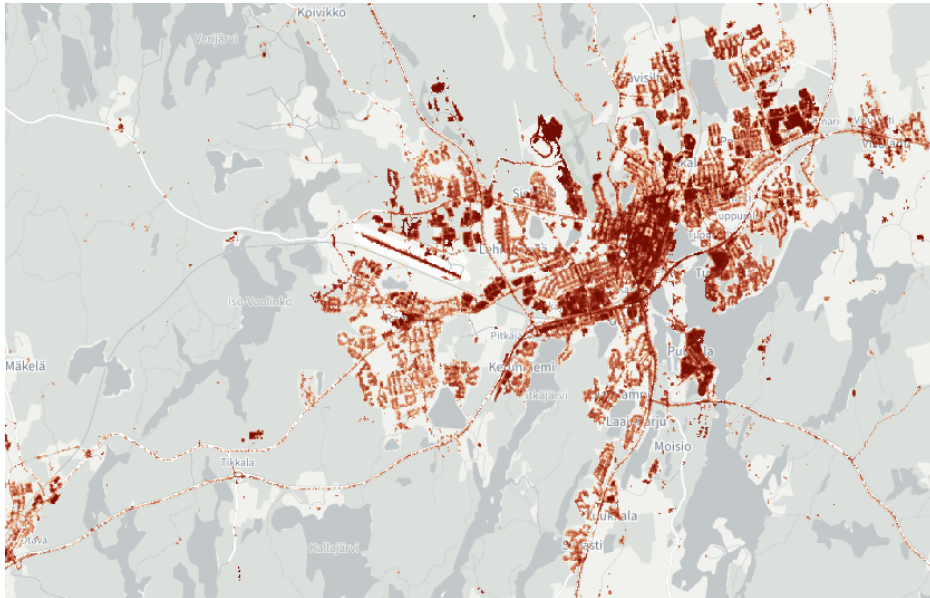
** Savilahdenkadun liittymä – valuma-alueen ulkoraja

Laskennan tulosten tarkastelu

Hanhijoen valuma-alueen läpi kulkevilla teillä syntyy laskennan tulosten mukaan käytetyillä muuttujilla 3,3–5,9 tonnia mikromuovihiukkasia vuosittain. Laskennan tulos riippuu laskennassa käytetyn rengaskuluman arvosta. Alankomaissa tehdyn tutkimuksen mukaan noin 12 prosenttia tieliikenteessä syntyvistä mikromuovipartikkeleista päätyy vesistöihin (Kole ym. 2017), ja Ranskassa tehdyn tutkimuksen mukaan vesistöihin päätyvä osuus on 20 prosenttia (Unice ym. 2019). Käytettäessä näitä prosentuaalisia osuuksia sekä laskennan tuloksia vesistöihin päätyvien liikenteestä peräisin olevien mikromuovihiukkasten määrän arvioinnissa saadaan Hanhijoen valuma-alueen läpi kulkevien isojen teiden aiheuttamaksi vuotuiseksi vesistöjen mikromuovipäästöksi 396–1180 kilogrammaa.

Tämä ei ole koko totuus Hanhijoen valuma-alueella vesistöihin päätyvien tieliikenteessä syntyvien mikromuovien määrästä, sillä mikromuoveja syntyy tieliikenteen tuloksena myös muilla kuin laskennassa käytetyillä suurilla teillä. Valuma-alueella on myös paljon pienempää tiestöä sekä muuta tieliikenteen käytössä olevaa vettä läpäisemätöntä pintaa. Kuvassa 2 on nähtävillä Mikkelin kaupunkialueella

sijaitsevien vettä läpäisemättömien pintojen osuus Corine Land Cover 2018 -aineiston mukaan. Mitä tummemmalla värillä jokin alue on merkitty, sitä enemmän siellä on vettä läpäisemätöntä pintaa. (Corine 2018) Pienemmiltä teiltä ei kuitenkaan ole saatavissa liikennemääriä, joten niillä syntyvien mikromuovipartikkelien arviointi on hankalaa.



KUVA 2. Vettä läpäisemättömät pinnat Mikkelin kaupunkialueella Corine 2018 -aineiston mukaan (kuva Corine 2018).

Yhteenveto

Tässä artikkelissa esitetyn laskennan tulosten todenmukaisuutta on vaikea arvioida. Laskennan tuloksena saadut mikromuovimäärät tuntuvat suurilta ja vaihtelevat suuruudeltaan valitun renkaiden kuluma-arvon mukaan. Tämän kaltaisessa laskennassa on suuria epävarmuustekijöitä johtuen muun muassa lähtöoletusten ja -arvojen valinnasta. Laskennan tuloksen voi siis sanoa olevan suuntaa antava. Kiistämätön tosiasia kuitenkin on, että liikenne on huomattava mikromuovipäästöjen lähde.

Kaupunkiympäristössä syntyneet mikromuovit kulkeutuvat eteenpäin eri tavoin. Osa niistä voi muodostaa maapartikkelien kanssa suurempia hiukkasia ja jäädä osaksi pintamaata. Myös kasvillisuuden on todettu sitovan esimerkiksi hulevesien sisältämää mikromuovia, sillä mikromuovi voi päätyä kasvien juurikanaviin veden mukana (Järveläinen ym. 2019, 6). Merkittävä mikromuoveja eteenpäin kuljettava tekijä on hulevesi. Hienoimmat hiukkaset voivat myös siirtyä ilmaitse.

Hiukkasten tarkempaa kulkeutumista Hanhijoen valuma-alueella olisi mahdollista tarkastella esimerkiksi mallinnuksen avulla.

Liikenteen mikromuovipäästöjä on hankala vähentää, sillä renkaiden valmistusmateriaalien koostumuksella voidaan ainoastaan rajallisesti vaikuttaa renkaiden kulumiseen. Kulumisen lisäksi rengasvalmistajien on otettava huomioon myös muita, esimerkiksi ajoturvallisuuteen vaikuttavia tekijöitä, kuten renkaiden pito-ominaisuudet.

Liikenteen sähköistyessä ja sähköautojen määrän lisääntyessä on odotettavissa renkaiden kulumisesta aiheutuvien mikromuovipäästöjen määrien kasvua, sillä ainakin tämänhetkiset sähkö- ja hybridi-autot ovat huomattavasti polttomootoriautoja raskaampia (Liu et al. 2022). Myös tulevaisuudessa ennustettu liikennemäärien kasvu tulee vaikuttamaan liikenteestä syntyvien mikromuovien määrään. Liikenteen mikromuovipäästöihin tuleekin kiinnittää entistä enemmän huomiota ja niiden päätymien vesistöihin tulee estää.

Mikromuovien, kuten muidenkin hulevesien sisältämien epäpuhtauksien, pääsy vesistöihin voidaan pyrkiä estämään erilaisten hulevesirakenteiden avulla. Hulevesirakenteissa merkittävää roolia näyttelee veden virtausnopeuden hidastaminen, jolloin vettä raskaammat partikkelit saadaan laskeutettua rakenteen pohjalle. Koska mikromuovi on pysyvää, on tämä kuitenkin huomioitava hulevesirakenteisiin kertynyttä lietettä poistettaessa ja sen jatkohyödyntämistä suunniteltaessa.

LÄHTEET

Corine 2018. CORINE Land Cover 2018. Saatavilla: <https://land.copernicus.eu/en/map-viewer?dataset=0407d497d3c44bcd93ce8fd5bf78596a>. Luettu: 12.11.2023

Järveläinen, J., Kuoppamäki, K., Pöysti, M. 2019. Hulevesien siirto, biosuodatus-käsittely ja suodatusmateriaalien vertailu Lahdessa. *Vesitalous* 2/2019. Saatavilla: https://vesitalous.fi/wp-content/uploads/2019/03/VT1902_lowres.pdf

Järviwiki 2011. Emolanjoen valuma-alue. Saatavilla: [https://www.jarviwiki.fi/wiki/Emolanjoen_valuma-alue_\(04.153\)](https://www.jarviwiki.fi/wiki/Emolanjoen_valuma-alue_(04.153))

Karttaselain s.a. Kartta-aineisto. saatavilla: www.karttaselain.fi

Kole, P.J., Löhr, A.J., Van Belleghem, F.G.A.J. & Ragas M.J. 2017. Wear and Tear of Tyres: A Stealthy Source of Microplastics in the Environment. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. Julkaistu 20.10.2017.

Kosonen, M., Puhakainen, L., Ustinov, A., Huttunen, A. & Turtiainen, P. 2020. Hankilammen hoito- ja käyttösuunnitelma 2021–2036. Saatavilla: <https://hallinta-mikkeli.kunta-api.fi/wp-content/uploads/2021/08/Hanhilammen-hoito-ja-kayttosuunnitelma.pdf>

Liu, Y., Chen, H., Wu, S., Gao, J., Li, Y., An Z., Mao, B., Tu, R., Li, T. 2022. Impact of vehicle type, tyre feature and driving behaviour on tyre wear under real-world driving conditions. *Science of Total Environment* 2022, volume 842. Saatavilla: <https://www-sciencedirect-com.ezproxy.xamk.fi/science/article/pii/S0048969722040475>

Magnusson, K., Eliasson, K., Fråne, A., Haikonen, K., Hultén, J., Olshammar, M., Johanna Stadmark, J. & Voisin, A. 2016. Swedish sources and pathways for microplastic to the marine environment. Saatavilla: <https://www.ivl.se/download/18.694ca0617a1de98f473b16/1628417679619/FULLTEXT01.pdf>

Setälä, O. & Suikkanen, S. (toim.) 2020. Suomen merialueen roskaantumisen lähteet. Suomen ympäristökeskuksen raportteja 9/ 2020.

Unice, K. M., Weeber, M. P., Abramson, M. M., Reid, R. C. D., van Gils, J. A. G., Markus, A. A., Vethaak, A. D. & Panko, J. M. 2019. Characterizing export of land-based microplastics to the estuary - Part II: Sensitivity analysis of an integrated geospatial microplastic transport modeling assessment of tire and road wear particles. *Science of the Total Environment*, 646, 1650-1659. Advance online publication. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.08.301>

UNECE 2013. United Nations Economic Commission for Europe. Particulate Matter Emission by Tyres. Informal Document GRPE-65-20. Saatavilla: <https://unece.org/DAM/trans/doc/2013/wp29grpe/GRPE-65-20e.pdf>

VALUE s.a. Valuma-alueen rajaustyökälu KM10. Saatavilla: <http://paikkatieto.ymparisto.fi/value/>

Väylävirasto 2018. Vt 13 Mikkeli-Lappeenranta. Suunnittelukohde 06/2018. Saatavilla: <https://www.ely-keskus.fi/documents/10191/28909395/TIE+Vt+13 +Mikkeli+-+Lappeenranta.pdf/df6c0f24-b38b-4ef2-8675-44ef469ece69>

Väylävirasto 2023. Suomen Väylät. Väyläviraston kartta-aineisto. Saatavilla: <https://suomenvaylat.vayla.fi/theme/0/471798/7051886/11/?lang=fi>

Österlund, H., Blecken, G., Lange, K., Marsalek, J., Gopinath, K. & Viklander, M. 2023. Microplastics in urban catchments: Review of sources, pathways, and entry in stormwater. *Science of the Total Environment* 858.

YLEISÖTILAISUDET BIOVIRTAA-HANKKEESSA

Tuija Ranta-Korhonen & Marleena Tirkkonen & Jaana Kokkonen

Biovirtaa – Biojäte kuljettaa -hankkeen tavoitteena on tehostaa kotitalouksien biojätteen lajittelua Etelä-Savon alueella. Tavoitteeseen pyritään tiedottamisen ja neuvonnan avulla ja osallistumalla eri kohderyhmille suunnattuihin kiertotalousteemaisiin tapahtumiin sekä järjestämällä hankkeen tutkimuskohteina mukana oleville kiinteistöille kohdennettua tiedottamista. Hankkeen tutkimuskohteet sijaitsevat Mikkelissä ja Mäntyharjun–Pertunmaan alueella. Hankkeen toteuttamisaika on 1.12.2022–31.12.2024, ja sitä rahoittavat Etelä-Savon maakuntaliitto (Euroopan unionin osarahoittama) sekä paikalliset jäteyhtiöt Metsäsairila Oy sekä Kymenlaakson Jäte Oy.

Kiertotalouden haasteet

Luonnonvarojen käyttö ei tällä hetkellä ole kestävällä tasolla. Niiden riittävyyden takaaminen tuleville sukupolville vaatii siirtymisen lineaarisesta taloudesta kiertotalouteen. Euroopan unioni on uudistetussa jätedirektiivissä asettanut jäsenmailleen kierrätystavoitteet, joiden mukaan yhdyskuntajätteestä tulee kierrättää 55 prosenttia vuonna 2025, 60 prosenttia vuonna 2030 ja 65 prosenttia vuonna 2035 (ympäristöministeriö s.a.). Suomessa ollaan selvästi jälkijunassa näiden tavoitteiden saavuttamisessa, sillä Tilastokeskuksen mukaan yhdyskuntajätteen kierrätysaste materiaalina hyödynnettyjen jätteiden osuutena kaikesta kokonaisjättemäärästä oli vuonna 2021 vain 37 prosenttia (Pirtonen 2023). Toisin sanoen paljon on vielä tehtävää.

Biovirtaa-hankkeen tapahtumat

Alueellisesti kiertotalouden haasteeseen pyrkivät vastaamaan Arjen kiertolouspäivä -tapahtumat, joista ensimmäinen järjestettiin Mikkelissä Stella-kaupakeskuksen tapahtumatorilla 8.3.2023. Tapahtumaan osallistui laaja joukko kiertotalousalan toimijoita. Biovirtaa-hankkeella oli tapahtumassa oma toimintapiste, ja lisäksi hanke järjesti yhdessä Miksei Mikkeli Oy:n kanssa lyhyen tietoiskun tapahtumatorin lavalla. Kuvassa 1 projektipäällikkö Tuija Ranta-Korhonen haastattelee tapahtumassa esiintynyttä Biokeijua.



KUVA 1. Biokeijun haastattelu tapahtumatorin lavalla (kuva Tiina Saario).

Mäntyharjulla oli 20.5. kesäkauden avajaiset, joiden osana järjestettiin kiertotalousaiheinen tapahtuma vanhalla Askelen kenkätehtaalla. Myös tämä tapahtuma toteutettiin Arjen kiertotalouspäivä -toimintakonseptin alla. Tapahtumassa Biovirtaa-hankkeella oli oma piste, jossa oli tarjolla tietoa muun muassa kompostointi-ilmoituksen teosta, mahdollisuudesta järjestää biojätteen käsittely kimpakompostoinnin avulla sekä yleisesti biojätteen lajittelusta. Lisäksi pisteellä pääsi opettelemaan biojättepussin taittelua sanomalehtipaperista. Kuvassa 2 on biojättepussin taittelu meneillään.



KUVA 2. Näin taittelet biojättepussin sanomalehtipaperista (kuva Tuija Ranta-Korhonen).

Kesäkuun lopussa Mäntyharjulla järjestettiin perinteiset markkinat. Hankkeella oli markkinoilla osasto (kuva 3). Osastolla kerrottiin biojätteen lajittelusta ja pyrittiin tuomaan esiin tehokkaamman biojätteen lajittelun mukanaan tuomia etuja.



KUVA 3. Biovirtaa-hankkeen osasto Mäntyharjun markkinoilla (kuva Tuija Ranta-Korhonen).

Lisäksi Biovirtaa-hanke on toteuttanut biojätteen lajitteluneuvontaa Mikkelin torilla ja Anttolan satamassa osana Metsäsairila Oy:n järjestämiä vaarallisen jätteen ja sähkölaitteiden pop up -keräystapahtumia.

Neuvonnan ja tiedottamisen merkitys

Kotitalouksien jätteiden lajittelussa on vielä runsaasti parannettavaa. Kunnallisten jätelaitosten tekemien kotitalouksien sekajätteen koostumustutkimuksien perusteella sekajätteestä keskimäärin noin 33 prosenttia on biojätettä (KIVO 2021). Jätteiden lajitteluun liittyy paljon vääriä käsityksiä, esimerkiksi se, että kaikki jäte menee samaan paikkaan, jolloin lajittelulla ei ole merkitystä.

Erilliskerätyn biojätteen jatkokäyttöä ei tunneta kunnolla. Tämän vuoksi biojätteen lajittelua ei koeta yhtä merkitykselliseksi kuin esimerkiksi metallin ja lasin lajittelua. Lajittelun aloittamiseen vaikuttavia tekijöitä voivat myös olla sopivan tilan tai lajitteluastioiden puute sekä niiden käytännöllisyys. Lisäksi biojäte koetaan tutkimusten mukaan haisevaksi ja inhottavaksi. (Maa- ja metsätalousministeriö & ympäristöministeriö 2020.)

Neuvonnan avulla on mahdollista torjua biojätteeseen liittyvää virheellistä tietoa ja lisätä tietoisuutta biojätteen lajittelun hyödyistä. Biojäte on oikein hyödynnettynä merkittävä osa kierrätettävissä olevia ravinnepitoisia biomassoja, joista voidaan valmistaa uusiutuvaa energiaa tai lannoitevalmisteita. Tällä on merkitystä muun muassa alueellista omavaraisuutta vahvistavana tekijänä.

LÄHTEET

KIVO. 2021. Koostumustietopankki. Saatavilla: <https://kivo.fi/ymmarramme/koostumustietopankki/>

Maa- ja metsätalousministeriö & ympäristöministeriö. 2020. Suomalaiset laiskoja lajittelemaan biojätettä – erilliskeräyksen ympäristöhyötyjä ei tunnisteta. Saatavilla: <https://valtioneuvosto.fi/-/1410903/suomalaiset-laiskoja-lajittelemaan-biojatteta-erilliskerayksen-ymparistohyotyja-ei-tunnisteta-1>

Pirtonen, H. 2023. Yhdyskuntajätteen kierrätysaste romahti – Suomi ei kulje mukana muun Euroopan kehityksessä. Tilastokeskukset artikkelit. Saatavilla: <https://www.stat.fi/tietotrendit/artikkelit/2023/yhdyskuntajatteen-kierratysaste-romah-ti-suomi-ei-kulje-mukana-muun-euroopan-kehityksessa/>

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

KULUTTAJAVIESTINNÄN AVULLA LISÄTÄÄN TIETOISUUTTA TEKSTIILIKIERTOTALOUDESTA

Kati Jordan & Miia Sourander

Tekstiilien kulutustottumukset ovat murroksessa ja aktiivista kuluttajaviestintää tarvitaan, kun siirrytään lineaarisesta taloudesta kohti aitoa kiertotaloutta. Vuoden 2023 alussa poistotekstiilien keräys laajeni kattamaan koko Suomen, mikä osaltaan tehostaa tekstiilien kierrätystä. Kun tekstiili on tullut käyttäjälleen tarpeettomaksi, voi kuluttaja toimittaa sen poistotekstiilikeräykseen alueellisten ohjeiden mukaisesti. Toimivat keräys- ja lajitteluprosessit sekä kerätyn materiaalin monipuolinen hyödyntäminen ovat merkittävässä roolissa onnistuneessa tekstiilikiertotaloudessa. Keräykseen tulevien poistotekstiilien laatuun voidaan vaikuttaa kohdennetulla ja hyvin suunnitellulla viestinnällä ja kuluttajaohjeistuksella. Poistotekstiilien lajittelijan työ on merkityksellistä, sillä sen kautta tekstiilit saadaan hyödynnettyä jätehierarkian mukaisesti.

Mekstiili – Tehokasta tekstiilikiertotaloutta Etelä-Savoon on Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu Oy:n (Xamk), Mikkelin kehitysyritys Miksei Oy:n, Metsäsairila Oy:n ja ViaDia Mikkeli ry:n yhteinen ryhmähanke, ja sen toteutusaika on 1.11.2022–31.10.2024. Mekstiili-hanke on Euroopan unionin osarahoittama, ja tuen on myöntänyt Etelä-Savon maakuntaliitto. Hankkeen tavoitteena on luoda soveltuvimmat poistotekstiilien lajittelu-, keräys- ja käsittelymenetelmien toimintamallit alueelle. Yksi hankkeen työpaketeista on keskittynyt erityisesti viestintään. Yhteistyö ja verkostoituminen toimivat läpileikkaavana teemana myös tekstiilikiertotalouden alueellisessa kehittämissuunnitelmassa, mikä laadittiin vuonna 2022 päättyneessä Mekstiili-suunnitteluhankkeessa. Tässä artikkelissa esitellään Mekstiili-hankkeen tähän mennessä toteutettuja kuluttajaviestinnän aktiviteetteja.

Selkeää ja monikanavaista viestintää

Kiertotalouden toteutumisen kannalta käytännön työssä on oleellista, että jätteen määrä saadaan vähennettyä minimiin. Tuotteen saavuttaessa elinkaarensa pään pyritään sen sisältämät materiaalit hyödyntämään. Näin toimimalla saadaan luotua niille lisäarvoa. Kuluttajille kiertotalouden edistyminen näkyy muun muassa

kestävämpinä ja innovatiivisempina tuotteina sekä parempana elämänlaatuna. (Mitä kiertotalous on ja miksi sillä on merkitystä? 2023) Jotta kiertotalous omak-suttaisiin osaksi kestävää elämäntapaa, on ymmärrettävä ja sisäistettävä uusia ja usein monimutkaisia käsitteitä (Viestinnän rooli kiertotalouden edistämässä 2020, 4). Laadukkaalla ja hyvin suunnitellulla viestinnällä voidaan vaikuttaa kaikkiin kiertotalouden osa-alueisiin. Kuluttajaviestinnän avulla voidaan lisätä asian tunnettuutta ja edistää tekstiilien kierrätystä Etelä-Savon alueella.

Tekstiilit ovat välttämättömyyksiä, jotka koskettavat meitä kaikkia joka päivä. On hyödyllistä toteuttaa poistoteksteihin liittyvää tiedottamista ja ohjeistamista tavalla, joka tavoittaa kuluttajat entistä laajemmin. Erilaiset viestintäkanavat tarjoavat muutosvaiheessa oivallisia keinoja asian tunnettuuden eteenpäin viemisessä. On kuitenkin huolehdittava, että eri viestintäkanavissa annettu ohjaus on yhdenmukaista. Poistotekstiili-käsite on vielä melko uusi asia, kuten itse poistotekstiilikera-yskin. Tämän vuoksi on oleellista avata kokonaisuutta monipuolisella ja selkeällä viestinnällä niin kuluttajille kuin muillekin toimijoille. Jos ohjeistuksesta tehdään liian vaikeaselkoista, on suuri todennäköisyys, että tekstiilien kierrätys jätetään toteuttamatta.

Poistotekstiilien keräys ja kotona tehtävä lajittelu voidaan kokea monimutkaiseksi, mikä voi hidastaa tekstiilikiertotalouden edistymistä. Onkin tärkeää avata kierrätystä kuluttajille yksiselitteisesti. Konkreettisella ja tiiviillä informaatiolla pyritään varmistamaan, että mahdollisimman monet sisäistäisivät poistotekstiilin keräyksen kannalta tärkeän ydinviestin. On ensiarvoisen tärkeää, että kuluttajat eivät tuo keräykseen sinne kuulumatonta tai pilaantunutta tekstiiliä. Poistotekstiilien lajittelua tehdään käsityönä, ja piittaamattomuus voi aiheuttaa jopa vaaratilanteita lajittelua tekeville työntekijöille. Tekstiilimateriaali pilaantuu myös herkästi, joten vähäinenkin määrä kosteaa tai haisevaa tekstiiliä voi estää kerätyn materiaalin hyödyntämisen. Oikeanlainen syntypaikkalajittelu voi nostaa kierrätysastetta. Viestinnällä halutaan myös edistää siirtymistä pelkästä kierrätyksestä aitoon kiertotalouteen, jossa huomioidaan kestävä kulutus ja tekstiilin koko elinkaari.

Viestinnällä ja kuluttajaohjeistuksella on merkittävä vaikutus kerätyn poistotekstiilin laatuun ja määrään. Mekstiili-hankkeessa on toteutettu aktiivista viestintää alusta alkaen. Tapahtumat ovat yksi viestinnän keino. Laadukkaasti suunnitellussa ja toteutetussa tapahtumassa voidaan välittää tehokkaasti uutta tietoa ja toimintamalleja kuluttajille. Varsinaisten kuluttajille suunnattujen tapahtumien lisäksi on tehty monipuolista oppilaitos- ja yritysysteistyötä.

Tapahtumat viestinnän välineenä

Näkyvällä ja aktiivisella viestinnällä motivoidaan kuluttajia osallistumaan tekstiilikiertotalouteen. Hankkeen alkuvaiheista lähtien on oltu mukana erilaisissa tapahtumissa, joita on järjestetty muun muassa kauppakeskus Stellassa ja Mikkelin pääkirjastossa. Tapahtumat ovat olleet kaikille avoimia ja ilmaisia, ja niissä ydinviestin esiintuominen on ollut keskiössä. Hankkeen työntekijät ovat tuoneet tutuksi poistotekstiilikeräystä jakamalla kuluttajaohjeistuksia sekä tietoa kierrätyspisteiden sijainnista. Kuluttajille on esitelty esimerkipussin avulla, kuinka keräykseen tuleva materiaali tulee pakata. Koska pelkkä poistotekstiilien keräys ei yksinään ratkaise tekstiileihin liittyviä ongelmia, on tapahtumissa avattu poistotekstiilien hyödyntämismahdollisuuksia käytännön esimerkeillä. Tapahtumat ovat myös mahdollistaneet avointa keskustelua tekstiilien kierrätyksestä ja uusista paikallisista käyttökohteista.

Arjen kiertotalouspäivä oli kaupunkilaisille suunnattu tapahtuma, jossa oli monipuolisesti esillä Mikkelin seudun toimijoita. Mekstiili-hankkeen pisteessä Xamkin hanketyöntekijät esittelivät poistotekstiilin matkaa kuluttajalta uusiksi tuotteiksi. Kuluttajat pääsivät tutustumaan mekaanisesti kierrätettyihin kuitunäytteisiin ja tunnistamaan erilaisia kuitumateriaaleja. Paikallisena hyödyntämisesimerkinä oli Piratin Kehräämön valmistama kierrätysvillalanka. Lisäksi esillä oli poistotekstiilien farkkuhuppuinen keräysrullakko (kuva 1).



KUVA 1. Arjen kiertotalouspäivässä oli esillä myös farkkukuosinen poistotekstiilien keräysrullakko. Vastaavat rullakot löytyvät sekä Stellan että Akselin kauppakeskuksesta. (kuva Kati Jordan)

Mekstiili-hankkeen projektipäällikkö esitteli poistotekstiilien keräystä tapahtumalavalla kaksi kertaa tapahtuman aikana. Poistotekstiilien kierrätys kiinnosti laajasti kuluttajia. Huomionarvoista oli, että tapahtuman kävijät halusivat tietoa konkreettisista asioista, kuten keräykseen sopivista teksteleistä, sekä siitä, voiko poistotekstiilit ja uudelleenkäytettävät tekstiilit pakata samaan pussiin. Tapahtuman syventävää antia olivat keskustelut, joissa jaettiin omia aiempia kokemuksia tekstiilien käyttöön pidentämisestä sekä käytettyjen tekstiilien eri hyödyntämistavoista menneiltä vuosikymmeniltä. Tapahtumassa saatiin myös luotua useita kontakteja yrityksiin, yhdistyksiin ja oppilaitoksiin.

Vaatevallankumous – Käyttöikää kiertotaloudessa -tapahtuma järjestettiin Mikkelin pääkirjaston Mikkelin-salissa. Tapahtumassa kuluttajille esiteltiin kattavasti poistotekstiilien keräystä, lajittelua, kerätyn materiaalin hyödyntämistä sekä vaatteiden korjausta ja tuunausta. Tapahtuma oli suunnattu koululaisille ja opiskelijoille, ja tämän vuoksi tapahtumaan oli lisätty toiminnallista osuutta mobiilipelin, lajittelu-tehtävän ja tekstiilimateriaalin tunnistusvisan avulla (kuva 2). Lisäksi nähtävillä oli aiheeseen liittyvää kirjallisuutta.



KUVA 2. Kirjaston tapahtumassa oli esillä myös kuitujen tunnistusvisa sekä esimerkkejä kierrätyskuidun käyttökohteista (kuva Kati Jordan).

Hanke on osallistunut myös kauppakeskus Stellan tähtitorilla järjestettyyn Savostamo-tapahtumaan. Tilaisuudessa oli useita oppilaitoksia ja alueen toimijoita esittelemässä Etelä-Savon koulutuksia sekä kestävyys- ja vastuullisuusteemaisia aiheita. Esittelypisteiden lisäksi tapahtumalavalla oli ohjelmaa, jossa asiantuntijat kertoivat muun muassa kestävästä kehityksestä ja kiertotaloudesta. Mekstiili-hankkeen pisteessä esiteltiin poistotekstiilien keräystä, lajittelua ja kerätyn materiaalin hyödyntämistä. Esimerkkinä käytettiin käytöstä poistetun villapaidan matkaa mekaanisen kuidutuksen kautta kierrätysvillalangaksi ja virkatuksi tilkuksi.

Yhteistyöllä lisää näkyvyyttä

Tekstiilikiertotalouteen siirtymisessä tarvitaan uudenlaista osaamista ja monipuolista yhteistyötä. On tärkeää luoda yhteyksiä niin opiskelijoiden kuin työelämänkin kanssa, jotta saadaan uudenlaisia näkemyksiä ja innovatiivisia ratkaisuvaihtoehtoja kiertotalouden vahdittamiseen. Onnistumisen edellytyksenä voidaan nähdä se, että eri alojen toimijat yhdistävät rohkeasti osaamistaan. Mekstiili-hankkeessa näihin haasteisiin on etsitty vastauksia oppilaitos- ja yritys yhteistyössä sekä hankkeiden välisellä yhteistyöllä.

Hankkeessa on tehty oppilaitosyhteistyötä Xamkin ympäristötekniikan insinööriopiskelijoiden kanssa. Työelämälähtöinen projektityö -opintojakson aikana opiskelijat toteuttivat poistotekstiilien keräystapahtuman Xamkin tiloissa ja sosiaalisen median viestintäkampanjan tapahtumasta. Tapahtuma oli suunnattu opiskelijoille ja työntekijöille. Poistotekstiilien keräystä varten kampukselle tuotiin farkkuhuppuinen keräysrullakko neljän päivän ajaksi. Keräyksen aloituspäivänä Mekstiili-hankkeen työntekijät pitivät infotilaisuuden aiheesta, jolla lisättiin tietoisuutta poistotekstiilien kierrätyksestä ja kampuksen tapahtumasta. Lisäksi infotilaisuudessa oli mukana Biovirtaa-hankkeen työntekijöitä kertomassa biojätteen lajittelusta. Opintojakson tuloksena syntyi myös poistotekstiilien kiertotaloutta esittelevä infojulistite, jota voidaan hyödyntää viestinnässä jatkossakin.

Xamkin biotuotetekniikan insinööriopiskelijat vastasivat Mekstiili-hankkeen heittämään haasteeseen osana opintoihin kuuluvaa innovointiprojektia. Opiskelijoille annettiin tehtäväksi etsiä ratkaisuja erityisesti sekoitemateriaalien hyödyntämiseen. Opiskelijoille esiteltiin tekstiilikiertotalouden pelikenttää sekä siihen sisältyviä haasteita ja mahdollisuuksia. Lisäksi opiskelijat tutustuivat erilaisiin innovointitekniikoihin työelämäprofessorin johdolla. Biotuotetekniikan opettajat ja hankkeen työntekijät ohjasivat käytännön kokeita Xamkin Kuitulaboratoriolla Savonlinnassa. Innovointiprojektin tuloksena syntyi kattava raportti kokeiden tuloksista ja kiinnostavista jatkotutkimusaiheista.

Yhtenä esimerkkinä hankkeiden välisestä yhteistyöstä on Mekstiili-hankkeen ja BiBe – Biohiilen uudet käyttökohteet rakennusmateriaalina -hankkeen järjestämä ideapaja, jossa tuotettiin uusia ideoita kiertotalouden edistämiseksi. Toteutustapana oli kaikille avoin hybriditapahtuma. (Poistotekstiili ja biohiili kiertotaloudessa ideapaja 2023) Ideapajan avulla tuotiin yhteen opiskelijoita, eri alan toimijoita ja yrityksiä. Kahden eri kiertotalousaiheen ja hankkeen yhdistäminen onnistui toivotulla tavalla, sillä molemmat aiheet olivat ajankohtaisia. Ideapajasta kerättiin osallistujapalautetta ja sen perusteella tapahtuma arvioitiin hyödylliseksi. Lisäksi on osallistuttu Cityloops- ja Biovirtaa-hankkeiden järjestämiin asukastilaisuuksiin, joissa pääteemana oli biojätteen lajittelu. Poistotekstiilien kierrätyksestä tiedottaminen sopi luontevasti tämänkaltaisen tilaisuuden yhteyteen.

Viestinnän vaikuttavuutta arvioidaan ja kehitetään

Tekstiilikiertotalouteen siirtyminen vaatii kokonaisvaltaista toimintaa ja ymmärrystä tekstiilialalla niin tuottajien, eri toimijoiden kuin kuluttajien keskuudessa. Voidaan sanoa, että tiedon jakaminen on avainasemassa. Tapahtumat ovat olleet hyvä mahdollisuus yhdistää synergisesti eri toimijat ja jakaa ajatuksia sekä kokemuksia poistotekstiilien keräyksen, lajittelun ja kierrätyksen edistämiseksi. Tapahtuman onnistumista voidaan arvioida esimerkiksi kävijämäärän, osallistumisaktiivisuuden, yleisöpalautteen ja tapahtuman medianäkyvyyden kautta.

Viestinnän haasteena on tavoittaa kuluttajat, jotka eivät vielä ole valveutuneita ja kiinnostuneita tekstiilien kierrätyksestä. Osallistujat ovat jo tapahtumaan tullessaan pääsääntöisesti motivoituneita kierrätyksestä, ja aihe on jollain tasolla tuttua. Heille neuvonta sekä ohjaus tapahtuu yleensä hyvin myönteisessä viestintäympäristössä.

Edelleen on hyvä jatkaa kehitystyötä viestinnän parissa, jotta mukaan saadaan ne kuluttajat, jotka eivät ole vielä kiinnostuneet kierrätyksestä. Haasteita luo myös poistotekstiilikeräykseen tuleva huonolaatuinen ja sinne kuulumaton materiaali. Erityisen tärkeää on tiedon jakaminen siitä, että tällä hetkellä tekstiilien lajittelu tehdään pääsääntöisesti vielä käsin ja väärin lajiteltu jätejäte voi olla pahimmillaan turvallisuusriski lajittelijalle. Onnistunut tapahtuma ja sitä kautta jaettu informaatio voi jättää kävijälle muistijäljen, mikä voi kannustaa esimerkiksi poistotekstiilien tehokkaampaan kierrätykseen ja ymmärtämään sen, miksi on tärkeää noudattaa ohjeistusta.

Hankkeessa tullaan jatkossakin tekemään aktiivista viestintää ja osallistutaan kuluttajille suunnattuihin tapahtumiin. Viestinnän vaikuttavuutta ja tehokkuutta arvioidaan jatkuvasti. Viestinnän avulla pyritään kasvattamaan tekstiilikiertotalouden tietoisuutta ja ratkaisemaan poistotekstiilikeräykseen liittyviä haasteita. Yhtenä tärkeänä tavoitteena voidaan pitää sitä, että löydetään viestintään toimintamalleja, jotka parantavat poistotekstiilikeräykseen tulevien materiaalien laatua. Näin saadaan tehostettua toimintaa ja lisättyä materiaalien jatkohyödyntämistä.

Tekstiilikiertotalouteen siirtymisessä on haasteita, mutta tulee tunnistaa myös siihen liittyvät mahdollisuudet. On nähtävissä, että tekstiilien pikamuoti ja ylikulutus sekä sen aiheuttamat ympäristöongelmat ovat herättäneet laajasti kiinnostusta kansalaisissa ja mediassa. On tärkeää käydä kuluttajien kanssa vuorokeskustelua ja kuunnella heidän näkemyksiään aiheesta, jotta tekstiilien kestävä kehitys löytäisi luonnollisen toimintamallin. Näin voidaan olla tukemassa kotitalouden käytäntöjä ja yhteiskuntaa kohti tehokasta kiertotaloutta.

LÄHTEET

Mitä kiertotalous on ja miksi sillä on merkitystä? 2023. Euroopan parlamentti. Ajankohtaista. 30.6.2023. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.europarl.europa.eu/news/fi/headlines/economy/20151201STO05603/mita-kiertotalous-on-ja-miksi-silla-on-merkitysta> [viitattu 21.9.2023].

Poistotekstiili ja biohiili kiertotaloudessa ideapaja. 2023. Xamk. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.xamk.fi/tapahtumat/poistotekstiili-ja-biohiili-kiertotaloudessa-ideapaja/> [viitattu 19.10.2023].

Viestinnän rooli kiertotalouden edistämisessä. 2020. Rodinia Oy. Helsinki. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://rodinia.fi/wp-content/uploads/dae-uploads/kiertotaloushankkeen-viestinta-rodinia.pdf> [viitattu 21.9.2023].

MAASEUTUJEN ENERGIAYHTEISÖT INNOVATIIVISIA JA KESTÄVIÄ ENERGIAJÄRJESTELMIÄ

Anna Dunderfelt & Juha Korpijärvi & Kalle Pesonen

Suomessa ollaan suurimmaksi osaksi riippuvaisia perinteisistä energiantuotantomuodoista. Perinteiset tavat tuottaa energiaa, kuten fossiiliset polttoaineet ja niitä polttoaineinaan käyttävät voimalaitokset, lisäävät ympäristön kuormitusta ja voivat olla haavoittuvaisia energian hintavaihtelulle ja erilaisille häiriöille. Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulun (Xamk) yhteistyössä Luonnonvarakeskuksen (Luke) ja Lappeenrannan–Lahden teknillisen yliopiston LUT:n kanssa toteuttama FarmEnergy – maatilojen energiayhteisö -hanke kehittää hajautettujen energiayhteisöjen toimintaa. Hankkeessa simuloidaan uusiutuviin energialähteisiin perustuvan energiayhteisön toimintaa ja osoitetaan mittausdatalla sen hyödyt energiayhteisöön osallistuville, lainsäätäjälle sekä sähkönsiirto-operaattoreille. Hanketta rahoittaa Hämeen elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus Manner-Suomen maaseudun kehittämisohjelmasta, ja sen toteutusaika on 1.9.2022–31.12.2024.

Hankkeessa on mukana kuusi alkutuotannon tilaa, joista on muodostettu virtuaalinen energiayhteisö. Tiloilta on kerätty sähkönkäytön mittausdataa vuosien 2022–2023 aikana. Hanketoimijat ovat vierailleet tiloilla haastattelemassa tilojen omistajia sekä kartoittamassa tiloilla olevia sähkön tuotanto- ja kulutuslaitteita sekä niiden energiankulutusta ja kulutuksen ajallista jakaumaa. Sähkön tuotanto- ja kulutusprofileista on pyritty löytämään vuorokauden sisäisiä ajallisia eroja eli niin kutsuttuja sähkötehojen risteilyjä. Datan avulla voidaan selvittää, onko virtuaalisen energiayhteisön sähkön yhteiskäytöllä ja sisäisellä kaupankäynnillä mahdollista tasoittaa tilojen välisiä sähköntuotanto- ja kulutuseroja.



KUVA 1. Hankkeessa mukana olevilla maatiloilla oli monella jo käytössä aurinkopaneelit (kuva Henri Kettunen).

Yhteistyö, verkostoituminen ja tulosten jalkauttaminen

Hankkeessa on tarkoituksena luoda sähköisesti vastaava eli ekvivalenttiverkko paikallisen sähkönjakeluoperaattorin verkosta, johon maatilat on kytketty. Malliin liitetään maatalojen tuntitehodataperusteiset kulutuskäyrät sekä keinotekoisesti luodut, aurinkovoiman tuotantoa mallintavat tuntitehokäyrät. Energiayhteisön koko vuoden energianhankinta sekä -tuotanto voidaan sen jälkeen ajaa mallin läpi. Ajon tuloksena mallista saadaan käyttöön ekvivalenttiverkossa ilmenevät verkon kulutushäviöt. Kulutusta, tuotantoa ja sähkökauppaa varioiden voidaan laskea eri energiayhteisökokoonpanoissa yhteisön tuottamat hyödyt osakkaille sekä siirto-operaattorille aiheutuvat häviö- ja siirtokustannukset. Simulointien tarkoitus on osoittaa, että energiayhteisöstä saadaan kokonaistaloudellista hyötyä, eikä se ole ainoastaan tulonsiirtoa siirto-operaattorilta energiayhteisön jäsenille.

Sopivia simulointityökaluja on etsitty tiedustelemalla yhteistyökumppaneilta, kuten Tampereen ammattikorkeakoulun väeltä, tarkoitukseen sopivia sovelluksia. Yhden lupaavan vihjeen perusteella kuunneltiin erään kotimaisen ohjelmistotalon tuote-esittelyä ja annettiin heille tuotetta varten kehitysideoita, joiden avulla se palvelisi paremmin energiayhteisöiden tarpeita. Selitysten perusteella on päädytty käyttämään simulointeihin Xamkin ja Tampereen ammattikorkeakoulun yhteistyöhankkeena kehitettyä älykkään sähköverkon Ässä-simulaattoria. Kyseinen

simulaattori on ohjelmoitu käyttäen alustana kaupallista sähkönsiirtoverkkojen tehonjakoon, vikavirtalaskentaan sekä stabiilisuuskalkulaatioon kehitettyä Power World -ohjelmistoa.

Hankkeen aikana energiayhteisöistä ja niiden toimintamahdollisuuksista on keskusteltu erilaisten asiantuntijaryhmien kanssa. Keväällä pidettiin tapaaminen Motivan kanssa ja keskusteltiin heidän valmisteilla olevasta energiayhteisöjä koskevasta ohjeistuksesta. Tilaisuudessa vaihdettiin ajatuksia puolin ja toisin sekä päätettiin jatkaa yhteistyötä uuden tapaamisen merkeissä. Lisäksi on valmisteilla tilaisuus hankkeen toiminta-alueelle oleville jakeluverkkoyhtiöiden edustajille. Tilaisuudessa pyritään selvittämään jakeluverkkoyhtiöiden mahdollisuuksia ja intressejä energiayhteisöjen toiminnan mahdollistamiseksi.

Hankkeen aikana seurataan tiiviisti lainsäädännön kehittymistä ja energiayhteisöistä käytävää julkista keskustelua. Hankkeen alkamisen jälkeen viime keväänä valmistui työ- ja elinkeinoministeriön asettaman työryhmän suositukset sääntelyn muuttamisesta energiayhteisöjen toimintaa sallivampaan suuntaan. Tieto työryhmän tulosten julkistamisesta saatiin suoraan hankkeen ohjausryhmältä, johon osallistuvista tahoista osa oli ottanut osaa työryhmän toimintaan. Myös jakeluverkkoyhtiöiden toimintaa ohjaava lainsäädäntö muuttui hiljattain sallien niiden periaatteiden ylijäämäsiirtoa jakeluverkkomaksua, jollaista aikaisemmin ei ollut mahdollisuus veloittaa.

Hanketoimijat näkevät yhtenä tärkeänä toimenpiteenä tiedon ja tulosten jalkauttamisen. Mahdolliset muutokset lainsäädännössä sekä jakeluverkkoyhtiöiden toiminnassa mahdollistuvat parhaiten jakamalla aiheesta tutkittua ja oikeellista tietoa. Maaseutujen energiayhteisöjä voidaan pitää edelläkävijöinä. Ne tuottavat sähköä uusiutuvista energialähteistä, kuten tuuli- ja aurinkovoimasta tai biomassasta, tarkoituksenaan välttää fossiilisia polttoaineita. Energiaa pyritään tuottamaan paikallisesti, ja tilat pyrkivät omavaraisuuteen samalla lisäten kansallista huoltovarmuutta. Tiedonjakamista hankkeessa harjoitettiin 12.–14.10.2023 järjestetyillä KoneAgria-messuilla Tampereella. Hanke oli mukana AgriHubin, Maaseutuverkostoyksikön ja ÄlyAgrin isännöimällä Innovaatiotorilla, jossa hankkeen toimintaa esittelivät Xamkin, LUTin ja Luken edustajat. Messupisteen lisäksi hanke osallistui Innovaatiotorilla pidettyyn hankkeen kulkua koskevaan haastatteluun sekä tapahtuman päälavalla järjestettyyn pitchaus-puheenvuoroon, jossa kuvattiin lyhyesti ja ytimekkäästi hankkeen tavoitteet.

Tulevaisuudessa voisi olla mahdollista osallistaa maaseudulla asuvia, kenties saman muuntopiirin alueella olevia asukkaita tukemaan paikallisen maatalan toimintaa ostamalla maatilalla tuotettua ylijäämäsiirtoa. Tämä olisi mitä otollisin keino yhteisöllisyyden lisäämiseksi harvaan asutuilla alueilla, joille maatilat ovat yksi tärkeimmistä työllistämiskanavista.

POP-YHDISTEET RAKENNUSMATERIAALEISSA

Leena Pekurinen

Rakentamisen kiertotaloudessa on viime vuosina edetty isoin harppauksin. Vuoden 2025 alussa voimaan tuleva rakentamislaki (751/2023) sisältää purkumateriaalien uudelleenkäyttöä koskevia vaatimuksia. Ennen purkamista purettavalle kiinteistölle on tehtävä purkukartoitus. Siihen sisältyvän asbesti- ja haitta-ainekartoituksen avulla selvitetään rakennuksen sisältämien haitallisten aineiden määrä ja sijainti rakennuksessa.

POP-yhdisteitä (Persistent Organic Pollutant) on käytetty rakennusmateriaaleissa ainakin 1950-luvulta lähtien. Niiden käyttöä rajoitetaan kansainvälisillä sopimuksilla ja lainsäädännöllä. EU:n kemikaalivirasto pitää yllä luetteloita POP-asetukseen sisällytetyistä yhdisteistä (European Chemicals Agency s.a.a) ja POP-yhdisteiksi ehdotetuista aineista (European Chemicals Agency s.a.b). Tietoja päivitetään säännöllisesti. POP-yhdisteiden tunnistamiseen ja POP-yhdisteitä sisältävien jätteiden käsittelyyn liittyvää Suomen kansallista lainsäädäntöä ja ohjeistusta on myös viime aikoina päivitetty.

RAPURC – Rakennus- ja purkujätteiden uudelleenkäytön ja kierrätyksen parantaminen toimintamallien ja tiedonsiirron kehittämisen avulla -hankkeessa tutkittiin POP-yhdisteitä kahdesta 1970-luvulla rakennetusta purkukohteesta. Hanketta hallinnoi Mikkelin kehitysyritys Miksei Oy. Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu oli hankkeessa osatoteuttajana. Hanketta rahoitti Etelä-Savon maakuntaliitto Euroopan aluekehitysrahastosta (EAKR).

POP-yhdisteet rakentamisen kiertotaloudessa

Viime vuosina on kiinnitetty huomiota rakennusmateriaaleissa käytettäviin POP-yhdisteisiin. Ne ovat erittäin haitallisia ympäristölle ja voivat aiheuttaa myös terveyshaittaa. POP-yhdisteet ovat kertyviä, ja ne voivat kulkeutua luonnossa pitkiäkin matkoja. POP-yhdisteitä on käytetty rakennusmateriaaleissa ainakin 1950-luvulta lähtien esimerkiksi palonsuoja-aineina, pehmittiminä, puunsuoja-aineina ja materiaalien kestävyyttä parantavina yhdisteinä.

Maailmanlaajuisella Tukholman yleissopimuksella rajoitetaan POP-yhdisteiden käyttöä, tuotantoa, kauppaa ja päästöjä. Euroopan parlamentin ja neuvoston asetus (EU) 2019/2021 (POP-asetus) sisältää sen velvoitteet, ja Suomessa se on sellaisenaan voimassa. Rakennustietosäätiön RT-ohjekortit koskien haitallisia aineita rakennuksissa uudistuivat lokakuussa 2022. Uudet ohjekortit RT 103500 ja RT 103501 ohjeistavat tilaajia ja haitta-ainetutkijoita haitta-aineiden – mukaan lukien POP-yhdisteiden – tunnistamisessa.

EU:n erityistä huolta aiheuttavien aineiden (SVHC-aineet) listalla olevat POP-yhdisteet voivat estää materiaalin kierrätyksen kokonaan. Tällä hetkellä SVHC-aineluettelossa olevista POP-yhdisteistä bromatut palonsuoja-aineet (HBCD), BDE:t, lyhytketjuiset (SCCP) ja keskipitkäketjuiset (MCCP) klooratut parafinit sekä PCB-yhdisteet voivat tyypillisesti esiintyä rakennuksissa. Luetteloa päivitetään säännöllisesti. PCB-yhdisteet on luokiteltu POP-yhdisteiksi, ja niiden käyttö on ollut Suomessa kiellettyä vuodesta 1990 lähtien.

Rakennuksissa POP-yhdisteitä esiintyy yleensä sellaisissa materiaaleissa, joita on rakennuksissa massaltaan pieniä määriä. Lisäksi pitoisuudet voivat vaihdella huomattavasti samankin materiaalin sisällä (Myllymaa ym. 2015, 54–55). Tällä hetkellä laboratorioanalyysit ovat käytännössä ainoa luotettava keino tunnistaa POP-yhdisteet rakennusmateriaaleista. POP-yhdisteiden laboratorioanalyysit ovat kuitenkin kalliita, ja analyysiaika on melko pitkä. Muun muassa näistä syistä POP-yhdisteet saattavat jäädä haitta-ainekartoituksessa ja -tutkimuksessa kokonaan huomiotta.

PCB-pitoisten saumamassojen purkamisessa voidaan noudattaa sille annettua ohjetta (RATU 82-0382). Sen sijaan yleiset purkuohjeet SCCP:tä sisältävien saumamassojen purkamiseen ja bromattujen palonestoaineiden käsittelyyn vielä puuttuvat (Ruusula, Mustajoki & Aromaa 2021, 529–530).

Jos rakennusmateriaaleissa havaitaan POP-yhdisteitä POP-asetuksen liitteessä IV annettuja raja-arvoja ylittäviä määriä, ne on käsiteltävä niin, että POP-yhdisteet tuhoutuvat pysyvästi eikä jäljelle jäävällä jätteellä ja päästöillä ole POP-yhdisteiden ominaisuuksia. Liitteessä V annettujen raja-arvojen ylittyessä jätteen käsittelylle aiheutuu lisävaatimuksia.

Tutkimuksen kohteena kaksi 1970-luvun rakennusta

RAPURC-hankkeessa tutkittiin POP-yhdisteitä kahdessa purkukohteessa Mikkelin kaupungin alueella. Toinen kohteista oli Mikkelin Tuppuralassa sijainnut, vuonna 1978 rakennettu asuinkerrostalo (kuva 1), jossa oli pohjakerroksen lisäksi viisi

asuinkerrosta. Yksi asuinhuoneisto, varasto- ja saunatilat sekä lämmityshuone sijaitsivat pohjakerroksessa. Asuntoja ja muita tiloja oli pintaremontoitu ja korjattu rakennuksen käyttöhistorian aikana. Kerrostalossa oli asukkaita loppuun asti ennen purkamista. Purkutyöt pääsivät alkuun lokakuussa 2022.



KUVA 1. Purettava asuinkerrostalo (kuva Leena Pekurinen).

Toinen tutkimuskohteista oli vuonna 1978 rakennettu kaksikerroksinen koulurakennus Siekkilän kaupunginosassa (kuva 2). Sen ylemmässä kerroksessa sijaitsivat jakelukeittiö ja ruokailutilat sekä luokahuoneet. Pohjakerroksessa sijaitsivat muut tilat, kuten puu- ja käsityöluokat, kirjasto, terveydenhoitajan vastaanottotilat ja tekniset tilat. Sisätilojen pintamateriaaleja ja ilmanvaihtojärjestelmä oli uusittu koulun käyttöhistorian aikana. Lisäksi oli tehty muitakin saneeraustöitä. Koulurakennuksessa ei ollut ollut toimintaa vuoden 2017 jälkeen, minkä vuoksi se oli altistunut ilkeille. Esimerkiksi suuri osa kierrätyskelpoisista wc-istuimista ja pesuista oli rikottu ja putkistojen eristeitä oli poistettu ja kupariset osat irrotettu. Purkutyöt aloitettiin maaliskuussa 2023, ja purkaminen kesti noin kaksi kuukautta.



KUVA 2. Purettava koulurakennus (kuva Leena Pekurinen).

Kumpaankin purkukohteeseen tutustuttiin paikan päällä, minkä perusteella laadittiin näytteenottosuunnitelmat. Taulukossa 1 on asuinkerrostalon ja taulukossa 2 koulurakennuksen näytteenottosuunnitelmat.

TAULUKKO 1. Asuinkerrostalon näytteenottosuunnitelma

Tutkittava yhdiste	Näyte
PCB-yhdisteet	Huoneiston lastulevyseinä, väliseinä (betonia), muovilattia+liima, betoniset parvekekaide-elementit, betonielementtien saumat
Klooratut parafiinit (SCCP, MCCP)	Huoneiston lastulevyseinä, betonielementtien saumat
Bromatut palonestoaineet (BDE:t, HBCD, TBBP-A, DeBB)	Huoneiston lastulevyseinä, betonielementtien saumat
Kloorifenolit	Huoneiston lastulevyseinä, betonielementtien saumat

TAULUKKO 2. Koulurakennuksen näytteenottosuunnitelma

Tutkittava yhdiste	Näyte
PCB-yhdisteet	Ikkunatiiviste/saumamassa, tiiliseinän (sisäseinä) maalipinta
Klooratut parafiinit (SCCP, MCCP)	Vanha sähköjaketukeskus: sähköjohdot ja niiden läpivientiputket, uusi sähköjaketukeskus: sähköjohdot ja muoviosat, ikkunatiiviste/saumamassa
Bromatut palonestoaineet (BDE:t, HBCD, TBBP-A, DeBB)	Vanha sähköjaketukeskus: sähköjohdot ja niiden läpivientiputket, uusi sähköjaketukeskus: sähköjohdot ja muoviosat, liikuntasalin verho, PU-vaah-toeriste seinän ja välioven välissä

Käytössä olivat kummankin kohteen rakennuspiirustukset ja rakennuksista tehdyt aha-kartoitusraportit. Kummassakaan kohteessa ei ollut tutkittu aha-kartoituksen yhteydessä mahdollisia POP-yhdisteitä rakennusmateriaaleissa. Sen vuoksi niitä painotettiin RAPURC-hankkeen näytteenotossa. Materiaalinäytteet analysoitiin ulkopuolisessa ALS Finland Oy:n laboratoriossa, jonka ohjeistusta näytteenotossa noudatettiin.

POP-asetus sisältää jätteille kaksi pitoisuusrajaa. Jos jätteen sisältämä POP-yhdisteen pitoisuus ylittää alemman pitoisuusrajan, jätteet on käsiteltävä asetuksessa säädetyillä menetelmillä. Ylemmän pitoisuusrajan ylittyessä jätteen käsittelyyn tulee lisärajoituksia (Ympäristöministeriö 2023, 74–75). Taulukkoon 3 on koottu rakennusmateriaaleissa mahdollisesti esiintyvien POP-yhdisteiden POP-asetuksessa säädetyt pitoisuusrajoja ja niihin hyväksytyt muutoksia.

TAULUKKO 3. Vanhoissa rakennusmateriaaleissa mahdollisesti esiintyviä POP-yhdisteitä ja niille EU:n POP-asetuksessa säädettyjä pitoisuusrajoja sekä asetuksessa (EU) 2022/2400 hyväksytyt muutokset pitoisuusrajoihin (Ympäristöministeriö 2023, 17).

POP-yhdiste	Alempi pitoisuusraja (POP-asetuksen liite IV)	Hyväksytyt muutokset liitteen IV pitoisuusrajaan (voimaan 10.6.2023 alkaen)	Ylempi pitoisuusraja (POP-asetuksen liite V)	Hyväksytyt muutokset liitteen V pitoisuusrajaan (voimaan 10.6.2023 alkaen)
Heksabromisyklododekaani (HBCDD)	1 000 mg/kg	500 mg/kg	1 000 mg/kg	-
Lyhytketjuiset klooratut parafiinit (SCCP) (alkaanit C10–C13)	10 000 mg/kg	1 500 mg/kg	10 000 mg/kg	-
Perfluorioktaani-sulfonihappo (PFOS) ja sen johdannaiset	50 mg/kg	-	50 mg/kg	-
Polyklooratut bifenyylit (PCB)	50 mg/kg	-	50 mg/kg	-
Tetra-, penta-, heksa-, hepta- ja dekabromidifenyyleetteri (BDE), pitoisuuksien summa	1 000 mg/kg	500 mg/kg 29.12.2025 alkaen 350 mg/kg*) 30.12.2027 alkaen 200 mg/kg*)	10 000 mg/kg	-
Perfluorioktaanihappo (PFOA) ja sen suolat	-	1 mg/kg	-	50 mg/kg
PFOA:n kanssa samankaltaiset yhdisteet, pitoisuuksien summa	-	40 mg/kg	-	2 000 mg/kg
Perfluoriheksaani-sulfonihappo (PFHxS) ja sen suolat	-	1 mg/kg	-	50 mg/kg
PFHxS:n kanssa samankaltaiset yhdisteet, pitoisuuksien summa	-	40 mg/kg	-	2 000 mg/kg

*) Mikäli POP-asetuksen liitteessä I säädetty pitoisuusraja tetra-, penta-, heksa-, hepta- ja dekabromidifenyyleetterien pitoisuuksien summalle tuotteissa on kyseisenä ajankohtana korkeampi kuin POP-jätteelle säädetty uusi pitoisuusraja, sovelletaan myös jätteille liitteessä I annettua korkeampaa pitoisuusrajaa.

Tutkimustulokset

Asuinkerrostalon ulkoseinäelementtien saumausmassan kloorattujen parafiinien (SCCP, Short chain chlorinated paraffins) pitoisuus oli 38 600 mg/kg. Keskipitkäketjuisten kloorattujen parafiinien (MCCP, Medium chain chlorinated paraffins) pitoisuus oli alle laboratorion määritysrajan (<13 900 mg/kg). Myös PCB-yhdisteiden, bromattujen palonestoaineiden ja kloorifenolin pitoisuudet alittivat laboratorion määritysrajat.

Koulurakennuksesta näytteitä otettiin sähköjakelukeskusten muoviosista, ikkunatiivisteiden saumausmassasta, käytävän tiiliseinän maalipinnasta, PU-vaahtoeristeestä ja liikuntasalin verhosta. Näytteistä analysoitiin kloorattuja alkaaneja, PCB-yhdisteitä ja bromattuja palonestoaineita. Tutkitut näytteet sisälsivät kloorattuja alkaaneja alle laboratorion määritysrajojen (SCCP <100 mg/kg, MCCP <120 mg/kg). SCCP:n määritysraja oli huomattavasti pienempi kuin POP-asetuksen liitteen IV pitoisuusraja. PCB-yhdisteitä ja bromattuja palonestoaineita oli näytteissä laboratorion määritysrajan alittavia määriä.

Kummastakin kohteesta otetut näytteet analysoitiin ulkopuolisessa ALS Finland Oy:n laboratoriossa. Laboratorion määritysrajat mainituille yhdisteille ovat huomattavasti pienemmät kuin POP-asetuksessa jätteille asetetut pitoisuusrajat. MCCP:lle ei ole toistaiseksi asetettu pitoisuusrajoja POP-asetuksessa.

Johtopäätökset

POP-yhdisteiden ympäristölle ja terveydelle aiheuttamat haitat edellyttävät niiden käytön rajoittamista. Nykyään tehtävät haitta-ainekartoitukset eivät läheskään aina sisällä POP-yhdisteiden analysointia, eikä niiden määriä, pitoisuuksia tai sijaintia rakennuksessa selvitetä kartoitusten yhteydessä. POP-yhdisteiden selvittämisen tulisi kuitenkin sisältyä haitta-ainekartoituksiin.

POP-yhdisteitä esiintyy tyypillisesti sellaisissa rakennusmateriaaleissa ja rakennusosissa, joita on rakennuksissa massaltaan pienehköjä määriä. POP-yhdisteiden tunnistamiseksi tehtävät laboratorioanalyysit ovat kalliita ja aikaa vieviä. Lisäksi on vielä paljon epätietoisuutta siitä, missä materiaaleissa POP-yhdisteitä voi esiintyä. Muun muassa näistä syistä POP-yhdisteiden tutkiminen ei ole ollut erityisen houkuttelevaa. Siitä huolimatta olisi huolehdittava, ettei niitä pääsisi ympäristöön. POP-yhdisteitä sisältävää materiaalia päätyy kaatopaikoille (loppusijoitukseen) vielä, vaikka POP-asetus edellyttää niiden hävittämistä muilla tavoilla.

Yhtenä melko uutena Tukholman sopimuksen tulokkaana ovat per- ja polyfluoriratud yhdisteet eli PFAS-yhdisteet, kuten perfluorioktaanisulfonihappo (PFOS) ja perfluorioktaanihappo (PFOA). Niiden vettä, likaa ja rasvaa hylkivät ominaisuudet ovat tehneet siitä laajasti käytetyn esimerkiksi sisustustekstiileissä, palonestoaineina sekä sähkö- ja elektroniikkatuotteissa. Tutkittua tietoa PFAS-yhdisteistä rakennusmateriaaleissa on vielä vähän.

RAPURC-hankkeessa päästiin tutkimaan kahden purettavan rakennuksen POP-yhdisteitä. Samalla kerättiin tietoa haitallisista aineista ja erityisesti POP-yhdisteistä rakennusmateriaaleissa. Rakentamisen kiertotalouden ja turvallisten purkutyömenetelmien kehittämiseksi tarvitaan lisää tutkimustietoa ja ohjeistusta. Eri tahoilla toteutettujen ja toteutettavien tutkimusten tuloksia hyödyntämällä voidaan parantaa purkutyön työturvallisuutta ja edistää rakentamisen kiertotaloutta.

VOIKO BIOHIILELLÄ EDISTÄÄ KESTÄVÄÄ RAKENTAMISTA JA KIERTOTALOUTTA

Anna Dunderfelt & Miia Sourander

Bibe – Biohiilen uudet käyttökohteet rakennusmateriaalina -hanke toteutettiin Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulun ja Mikkelin kaupungin kehitysyhtiö Miksei Oy:n yhteistyönä. Hankkeen toteutusaika oli 1.12.2020–31.8.2023, ja sitä rahoitti Etelä-Savon maakuntaliitto Euroopan aluekehitysrahastosta. Hankkeen yhteistyökumppaneita olivat Suur-Savon Energiasäätiö sr, Etelä-Savon Koulutus Oy, Betsset Oy, Harri Haavikko Oy, Benetech Finland Oy, Carbo Culture Oy ja SoilCare Oy. Hankekumppaneilta saatiin apua ja tukea toimenpiteiden toteutukseen.

Hankkeessa selvitettiin biohiilen mahdollisuuksia ja ominaisuuksia rakennusteollisuuden raaka-aineena, ja tavoitteena oli edistää hiilensidontaa betonirakenteissa sekä pienentää betonituotteiden hiilijalanjälkeä. Laboratoriomittakaavan kokeilla tutkittiin biohiilten sisältämiä haitta-aineita sekä sementtiseoksissa ja muissa materiaaleissa käytettävän biohiilen partikkelikokoa ja biohiili-sementtiseossuhteita. Hankkeen aikana selvitettiin ja mallinnettiin ei-kantavien koetuotteiden, kuten pihalaattojen, istutusruukkujen ja kevyiden hulevesirakenteiden, ominaisuuksia (kuva 1). Pilot-mittakaavan kokeilla monitoroitiin biohiilibetonisten koetuotteiden kestävyysominaisuuksia. Koekappaleita valmistettiin myös erilaisiin laboratorio-kokeisiin, joissa testattiin pakkasenkestävyyttä, puristuslujuutta ja tiheyttä sekä VOC- ja PAH-yhdisteitä ja veteen liukenevia aineita. Kenttäolosuhteissa tarkasteltiin ääneneristävyyttä, lämmönjohtavuutta ja kosteuden siirtymistä. Kaikki kokeet olivat vertailukokeita, joissa biohiilibetonisia koekappaleita verrattiin normaaliin betoniin, joka valmistettiin sekoittamalla sementti, vesi ja kiviaines.



KUVA 1. Vasemmalla Mikkeli puiston koealueen kukkaruukku, jossa sementtiä on korvattu biohiilellä 5 painoprosenttia, ja oikealla hulevesirakenne, jossa biohiili on korvannut sementtiä 2 painoprosenttia (kuva Anna Dunderfelt).

Hankkeen kokeiden tulokset eivät ole yleistettävissä, vaan ne kertovat vain hankkeessa valmistettujen koekappaleiden ja -tuoteaihioiden ominaisuuksista. Tulosten perusteella tunnistettiin biohiilibetonisten tuotteiden kehittämismahdollisuudet ja haasteet. Hankkeen päätyttyä voidaan biohiilen soveltuvuutta betonituotteissa tarkastella kokonaisuutena ja arvioida kriittisesti sitä sementin korvaajana.

Rakennustuotteiden tuoteturvallisuudesta ei voida tinkiä

Matalan vaatimustason betonituotteisiin, kuten pihalaattoihin ja kukkaruukkuihin, biohiiltä on turvallista käyttää. Maailmalta löytyy jo joitakin kaupallistettuja viher-rakentamisen biohiilibetonituotteita, biohiiltä sisältäviä laastisekoituksia ja betonilattioiden pinnoittamiseen soveltuvaa biohiiliseosta. Verrattuna muihin vihreän betonin sementtiä korvaaviin raaka-aineisiin, kuten masuunikuona ja lentotuhka, on biohiilen markkinahinta vielä melko korkea ja saatavuus ja tuotantomäärät epävakaita. Lisäksi biohiilen tasalaatuisuus, raaka-aineen saatavuus ja prosessointi ovat vielä kehitysvaiheessa. Korkeamman vaatimustason betonituotteiden kohdalla tarvitaan vielä enemmän pitkäaikaistutkimusta.

Rakennustuotteen tulee täyttää rakennusmateriaaleja koskevia erilaisia säädöksiä. Säädökset liittyvät muun muassa rakenteen lujuuteen ja vakauteen,

paloturvallisuuteen, terveellisyteen, melu- ja ääniolosuhteisiin ja energiatehokkuuteen. Biohiilen lisäys betonirakenteeseen edistää ekologisia näkökulmia, joista säädetään maankäyttö- ja rakennusasetuksessa 1999/895 55 §. Asetuksessa otetaan kantaa rakennustarvikkeiden ja -materiaalien aiheuttamaan rakennuksen elinkaaren aikaisiin ympäristörasituksiin ja käyttöikään sekä korjattavuuteen ja vaihdettavuuteen. (Maankäyttö- ja rakennuslaki 1999/895.)

Ekologisuuden edistämiseksi ja tehostamiseksi ympäristöministeriö on julkaissut Vähähiilisen rakentamisen tiekartan, jonka tavoitteita ovat muun muassa rakennusmateriaalien hiilijalanjäljen pienentäminen sekä Suomen ilmastotavoitteiden edistäminen (Vähähiilisen rakentamisen tiekartta s.a.). Kiertotaloutta voidaan pitää yhtenä merkittävänä toimena, kun rakennusteollisuutta viedään kohti kestävästä kehitystä. Biohiilen käytöllä voidaan hillitä ilmastonmuutosta ja edistää kiertotaloutta korvaamalla betonissa sementtiä ja hyödyntää biohiilen valmistuksessa kiertotalouden sivuvirtoja. Biohiilen raaka-aineena pystytään käyttämään esimerkiksi puupohjaista rakennusjätettä. Purkujätteitä hyödyntämällä voidaan parantaa rakennusalan kustannus- ja materiaalitehokkuutta sekä samalla saavuttaa päästövähennyksiä. Kaikesta huolimatta tuoteturvallisuuden takaamiseksi rakennusalan kiertotaloustuotteiden tulee täyttää samat kriteerit kuin perinteisten tuotteiden.

Betonin pitkä käyttöikä säilytettävä

Hankkeessa valmistetuille koekappaleille tehtiin monipuolisesti testauksia, mutta resurssien rajallisuuden vuoksi jäi vielä useita betonille tärkeitä teknisiä ominaisuuksia tutkimatta. Vertailukokeiden otantamäärät olivat pieniä, ja otantamääriä kasvattaessa saataisiin luotettavampaa ja vertailtavampaa tietoa. Betonin valmistusprosessin poikkeamilla oli vaikutusta hankkeessa tehtyjen koekappaleiden testituloksiin. Jatkotutkimukset olisi hyvä tehdä betonilaboratorioissa, joissa betonimassan valmistaminen voidaan toteuttaa vakioiduissa olosuhteissa standardeja noudattaen. Useiden uusien raaka-aineiden yhtäaikainen testaaminen on haastavaa, sillä on vaikeaa tunnistaa ja yksilöidä se, mikä vaikutus johtuu kustakin raaka-aineesta tai niiden yhteisistä kemiallisista reaktioista. Näin ollen hankkeen biohiilibetonikoekappaleissa keskityttiin selvittämään ainoastaan biohiilen vaikutusta betonin ominaisuuksiin. Seuraava askel voisi olla biohiilibetonissa käytettävän lisäaineen tai raudoituksen tutkiminen.

Betonin vetolujuus on melko pieni verrattuna sitä sen puristuslujuuteen. Vetolujuus on vain noin kymmenesosa puristuslujuudesta, ja tämän vuoksi betonirakenteissa käytetään raudoitusterästä tarvittavan vetolujuuden saavuttamiseksi. (Vetolujuus s.a.) Betoni on materiaalina hyvin alkalinen, ja tämä ominaisuus antaa hyvän suojan teräkselle korroosiota vastaan. Betoniteräksessä voi alkaa korrosio,

jos raudoitusterästä suojaava betoni karbonatisoituu tai siihen kulkeutuu haitallisia määriä klorideja. (Betonin vaurioituminen s.a.) Betonissa käytettävä teräs voidaan ruostesuojata. Hiljattain Britanniassa kevytbetonin ruostuminen ulkorakenteissa aiheutti ongelmia. Vesi oli imeytynyt betonin teräsrakenteisiin aiheuttaen teräksen ruostumisen, joka johti betonin murenemiseen. Tämän tyyppinen kevytbetoni (höyrykarkaistu kaasubetoni) ei anna raudoitukselle samanlaista suojaa korroosiota vastaan kuin normaali betoni. (Kuokkanen 2023.)

Pelkästään biohiilibetonin puristus- ja vetolujuuden tutkiminen ei ole riittävää, vaan tarvitaan pitkäaikaistutkimusta biohiilen ja teräksen yhteisvaikutuksesta betonissa. Lyhyen aikavälin tutkimuksella yllä oleva yhdistelmä voi näyttää toimivalta, mutta betonin käyttöikä on tunnetusti korkea. Pitkäikäisyyden säilyttäminen uusissa innovaatioissa on vähähiilisuuden kannalta merkittävä ominaisuus arvioitaessa tuotetta sen elinkaaren ajan. Myöhemmiltä ongelmilta vältytään, kun biohiilibetonin ja teräksen yhdistelmää tutkitaan eri olosuhteissa ja käyttötarkoituksissa.

Hankkeen aikana valmistetuissa koetuotteissa ei käytetty raudoitusta tai lisäaineita, jotka ovat betonin tavanomaisia materiaaleja. Betonin ominaisuuksiin voidaan vaikuttaa erilaisilla lisäaineilla. Betonissa käytettävät lisäaineet ovat pääsääntöisesti erilaisia polymeerejä, joilla voidaan vaikuttaa muun muassa betonin notkuuteen, ilmapitoisuuteen ja kovettumisen nopeuteen. Lisäaineiden käyttö kohdistuu yleensä betoneihin, jotka tulevat vaativiin ympäristöolosuhteisiin ja joutuvat esimerkiksi sää- tai kemikaalirasituksen alaiseksi. (Lisäaineet s.a.)

BiBe-hankkeen testauksissa keskityttiin selvittämään (kuva 2):

- eri raaka-aineista valmistettujen puupohjaisten biohiilien vaikutuksia betonin ominaisuuksiin sementin korvaajana
- biohiilen partikkelikoon vaikutuksia betonimassan vesi-/seosaine-suhteeseen, työstettävyyteen, kuivumisprosessiin, ulkonäköön ja betonin eri ominaisuuksiin
- optimaalista biohiili–sementtisuhdetta betonissa.

Kiertotalouden edistämisen näkökulmasta yhdeksi testattavaksi biohiileksi valittiin SoilCare-yrityksen valmistama A-luokan purkupuubiohiili, jolloin puupohjainen rakennusjäte saadaan vielä rakennusteollisuudessa kiertoon eikä sitä tarvitse polttaa energiaksi.



KUVA 2. Hankkeessa valmistettiin paljon erilaisia koekappaleita laboratorio- ja pilot-mittakaavan kokeisiin. Koekappaleiden biohiilen ja sementin seossuhde vaihteli. Biohiili antaa koekappaleelle tummemman värin verrattuna normaaliin betoniin. (Kuva Anna Dunderfelt)

Raudoituksen, lisäaineiden ja biohiilen kemiallisten yhteisvaikutusten selvittäminen on tärkeässä roolissa, ja varsinkin tulisi poissulkea se, ettei biohiilen lisääminen heikennä raudoitusta tai lisäaineiden tavoiteltua vaikutusta. Jatkossa olisikin hyvä tutkia, millaisia kemiallisia yhteisvaikutuksia raudoituksella, lisäaineilla ja biohiilellä on keskenään, jotta biohiiltä voidaan mahdollisesti hyödyntää korkeamman vaatimustason betonituotteiden valmistuksessa. Biohiilen partikkelikoko vaikuttaa betonimateriaalin ominaisuuksiin ja siten lopputuotteen laatuun. Lisätutkimuksen aiheena voisi olla biohiilen partikkelikokomittaukset ja se, miten eri hienonnustasot vaikuttavat betonin kestävyysominaisuuksiin, kun biohiilellä korvataan sementtiä. Biohiilen sopivalla partikkelikoollla on vaikutusta betonin tekniisiin ominaisuuksiin, kuten pakkasenkestävyyteen ja lujuuteen. Biohiiltä ei kannata jauhaa tarpeettoman hienoksi, sillä biohiilen jauhatus sekä jauhamista edeltävä kuivatus lisäävät valmistuksen energiankulutusta.

Yhteenveto

On väistämätöntä, että kiertotalous tulee osaksi rakennusteollisuutta, ja näin ollen tarvitaankin uudenlaisia tutkimuksia, innovaatioita, tuotesuunnitteluja ja kokeiluja. Kun biohiili valmistetaan kiertotalouden sivuvirroista tai uusiutuvasta biomassasta, pienentää se rakennusalan hiilijalanjälkeä. Rakennusalan ympäristövaikutuksiin voidaan vaikuttaa merkittävästi löytämällä sementille korvaavia materiaaleja, ja siihen biohiili tarjoaa mielenkiintoisen vaihtoehdon. Tarkasteltaessa biohiiltä betonissa koko tuotteen elinkaaren ajalta voidaan todeta, että hiili sitoutuu pitkäksi ajaksi siihen ja tämä vähentää osaltaan hiilidioksidin vapautumista ilmakehään. BiBe-hankkeessa tehtiin hiilijalanjälkilaskelmat biohiilibetoneille ja verrattiin niitä normaalin betonin hiilijalanjälkeen. Betonin hiilijalanjälki alkoi laskea heti hieman, kun sementtiä korvattiin biohiilellä 2–5 painoprosentin verran. Betonin valmistusvolyymit ovat suuria, ja pienilläkin sementtiä korvaavilla seosaineilla on merkittäviä vaikutuksia hiilijalanjälkeen.

Biohiilen käyttö sementin korvaajana vaatii vielä tarkkaa suunnittelutyötä ja pitkäaikaistestausta, että voidaan varmistua tarvittavista teknisistä ja kestävyysliittyvistä ominaisuuksista. Lisäksi biohiilen valmistuksessa tulee huomioida ekologiset näkökohdat, kuten biomassan kestävä hankinta ja biohiilen tuotannon energiatehokkuus. Kaupallisilla markkinoilla ei ole valmista biohiilituotetta, joka sellaisenaan soveltuu sementin korvaajaksi. Kehitystä on kuitenkin lähivuosina tapahtunut. Siitä huolimatta biohiilen saatavuudessa, valmistusprosessissa, soveltuvuudessa ja logistiikassa on edelleen haasteita. Osa haasteista ratkaistaisiin tuottamalla biohiiltä lähellä betonitehdasta ja hyödyntämällä paikallista osaamista. Näin voitaisiin ketterästi vastata kysyntään ja vähentää kuljetustarpeita.

Betonituotteiden kohdalla on erityisen tärkeää, että uudet seosaineet toimivat hiilijalanjäljen alentamisen lisäksi myös betonissa teknisiä ominaisuuksia vahvistavana sekä kustannustehokkaina vaihtoehtoina. Biohiilen käyttö sementin korvaajana voi tarjota ympäristöetuja, mutta haasteita ja rajoituksia voi tulla rakennusteollisuuden osin jopa tiukoista säädöksistä ja standardeista. Rakennusmateriaalien tulee olla turvallisia sekä kestäviä ja biohiilen tulee täyttää nämä vaatimukset, jotta sitä voidaan luotettavasti käyttää korkean vaatimusluokan rakennuskohteisiin. On kuitenkin hyvä huomioida, että biohiilen käyttö betonin raaka-aineena vaatii edelleen kehitystyötä ja eri sidosryhmien välistä yhteistyötä, jotta löydetään toimiva ja tehokas prosessi biohiilen hyödyntämiseksi betoniteollisuuden raaka-aineena.

LÄHTEET

Betonin vaurioituminen. s.a. Betoniteollisuus ry. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://betoni.com/tietoa-betonista/ominaisuudet-ja-edut/betonin-vaurioituminen/> [viitattu 18.9.2023].

Kuokkanen, V. 2023. Britanniassa yli sata koulua suljettiin ongelmabetonin vuoksi – taustalla suomalaislähtöinen keksintö. Rakennuslehti 18.9.2023. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.rakennuslehti.fi/2023/09/britanniassa-yli-sata-koulua-suljettiin-ongelmabetonin-vuoksi-taustalla-suomalaislahtoinen-keksinto/> [viitattu 28.9.2023].

Lisäaineet. s.a. Betoniteollisuus ry. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://betoni.com/tietoa-betonista/betoni-rakennusmateriaalina/lisaaineet/> [viitattu 18.9.2023].

Maankäyttö- ja rakennusasetus 10.9.1999/895.

Vetolujuus. s.a. Suomen Betoniyhdistys ry. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.betonitieto.fi/kirjasto-ja-sanasto/betonisanasto/vetolujuus.html> [18.9.2023].

Vähähillisen rakentamisen tiekartta. s.a. Ympäristöministeriö. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://ym.fi/vahahiillisen-rakentamisen-tiekartta> [viitattu 19.9.2023].

TURVETUOTANTOALUEIDEN JATKOKÄYTTÖ TURVALLISESTI – YMPÄRISTÖVAIKUTUKSET HUOMIOIDEN

Kati Kontinen & Tiina Ronkainen

Turvetuotanto on vähentynyt Suomessa nopeaan tahtiin vuoden 2019 jälkeen. Syinä tähän on erityisesti päästökaupassa päästöoikeuksien korkea hinta, energiaturpeen kohonnut verotus sekä Suomen hallituksen linjaama tavoite, että energiaturvetuotanto tullaan puolittamaan vuoteen 2030 mennessä. Tuotannon vähentyessä myös turvetuotannosta poistuvien alueiden määrä kasvaa merkittävästi.

Turpeen energiakäytön puolittamisella tavoitellaan ilmastopäästövähennyksiä. Tämän lisäksi tuotannosta poistuneilla turvekentillä on vaikutuksia maankäyttösektorin hiilinieluun ja -varastoihin. Voimakkaasti kuivatetuilta turvetuotantoalueilta vapautuu hiilidioksidia ilmakehään turpeen hajoamisen seurauksena. Tuotannon päätyttyä turpeen hajoaminen olisi saatava hallintaan ja parhaassa tapauksessa saada alue sitomaan hiiltä. Myös vesistön ja luonnon monimuotoisuus ovat jatkokäytön osalta merkittäviä ja huomioitavia. Oleellista jatkokäytön suunnittelussa ja toteutuksessa on, että alue siirretään mahdollisimman nopeasti sellaiseen käyttöön, mikä hillitsee ilmasto- ja vesistö päästöjä tehokkaasti.



KUVA 1. Ennallistettavaa suonpohjaa tasoitetaan ja siihen muotoillaan jäniteitä ennen suokasvillisuuden levittämistä (kuva Pasi Pakarinen).

Jatkokäytön ympäristövaikutuksia (vesistö- ja ilmastovaikutuksia) ei ole vielä kattavasti seurattu. Tällä hetkellä on useita tutkimushankkeita meneillään, ja vasta vuosien päästä aletaan saamaan seurantatietoa. Jatkokäytön suunnittelussa täytyy ymmärtää tuotannosta poistuvan alueen ja jäljelle jääneen turpeen ominaisuuksia sekä vedenpinnan tason vaikutuksia erilaisiin päästöihin. Kuvassa 1 ennallistettavan suon pohjaa valmistellaan jatkokäyttöön muotoilemalla sitä. Mitä nopeammin alueelle saadaan kasvillisuutta, sitä paremmin huolehditaan hiilensidonnasta sekä vesistövaikutuksista.

Turvetuotannon vähenemisen seurauksia

Turvetuotannon lasku koskee erityisesti maakuntia, joissa turvetuotannolla on ollut merkittävä rooli elinkeinotoiminnassa. Etelä-Savossa vuonna 2019 oli 25 turvetuotantoaluetta ja tuotantopinta-alaa 2 843 hehtaaria. Vuoden 2021 lopussa turvetuotantoalaa oli 1 874 hehtaaria, eli parin vuoden aikana tuotannosta poistui tuhat hehtaaria. Turvesuot sijoittuvat Mikkelin, Juvan, Pieksämäen, Kangasniemen ja Rantasalmen kuntien alueelle. Neova Oy on alueiden pääasiallinen toiminnanharjoittaja. (Etelä-Savon JTF-suunnitelma)

Maakunnassa tuotetusta energiaturpeesta 1/3 menee vientiin. Kuiviketurvemarkkinoissa on myös muita toimijoita, jolloin turve tulee maakunnan ulkopuolelta. Kuiviketurpeen osalta on myös omatuotantoa, jossa tuottaja itse käyttää tuottamansa turpeen. Turvetuotannon lasku merkitsee muutoksia työpaikkoihin, talouteen sekä energiaomavaraisuuteen. Lisäksi turvetuotannon päättymisen vapauttaa isot määrät turvetuotantoalueita eli niin sanottuja suonpohjia lyhyessä ajassa seuraavaan maankäyttöön. Nämä alueet on tärkeä saada nopeasti jatkokäyttöön, jolloin huolehditaan sekä ympäristöstä että maanomistajien intresseistä. Maanomistaja päättää aina alueen jatkokäytöstä. Jatkokäyttöön vaikuttaa maanomistajien mieltyömysten lisäksi muun muassa alueen pinnanmuodot ja vesitalous, pohjamaan koostumus sekä sijainti. Hyvin suunniteltu ja toteutettu jatkokäyttö voi olla taloudellisesti järkevää, edistää hiilivarastojen säilymistä sekä tukea luonnon monimuotoisuutta. (Etelä-Savon JTF-suunnitelma.)

Pellervon taloustutkimuksen (PTT) mukaan vuonna 2019 Etelä-Savossa oli turpeen noston toimialalla 11 toimipaikkaa ja niiden työllistävä vaikutus 29 henkilötyövuotta. Toimipaikat sijaitsivat Mikkelin ja Pieksämäen seuduilla. Etelä-Savossa toimii myös yrityksiä, joiden toimipaikka on muualla Suomessa, joten suoraan näistä tilastoista ei voi laskea turvetuotannon työpaikkoja alueella. Lisäksi turvetuotanto on Etelä-Savon maakunnassa vallitsevasti yhden yrityksen hallussa, ja turpeen nostoa on tehty alihankintana, jolloin yrittäjät ovat esimerkiksi kone- ja kuljetusalojen toimialaluokissa. Etelä-Savon maakunnan turvetuotannon bruttoarvo oli 11 miljoonaa euroa ja jalostusarvo 1,8 miljoonaa euroa. PTT:n mukaan turvetuotantoketju työllistää kerrannaisvaikutuksineen 50–60 henkilöä. Vuoden aikana työllisten määrä tuotantoketjussa on kuitenkin selvästi suurempi, sillä iso osa turpeen noston työllisistä on kausityöntekijöitä. Kerrannaisvaikutukset heijastuvat perheiden pääasialliseen toimeentuloon ja sitä kautta asukkaiden hyvinvointiin ja kuntatalouteen. Kumulatiivinen menetys vuoteen 2030 on noin 500 henkilötyövuotta. (Etelä-Savon JTF-suunnitelma)

Etelä-Savossa turpeen käytöstä luovutaan lähes kokonaan vuoteen 2030 mennessä. Maakunnan turvetuotantoala on pienentynyt kahdessa vuodessa tuhat hehtaaria, ja vuoteen 2030 mennessä poistuu yli tuhat hehtaaria lisää. Maakunnassa tavoitellaan hiilineutraaliutta vuoteen 2035 mennessä. Turpeen käytöstä luopuminen tukee tätä tavoitetta. Tavoitteena on kompensoida turvetuotannosta luopumisen aiheuttamat työpaikkamenetykset, pitää maaseutu asuttuna sekä monipuolistaa maakunnan elinkeinotoimintaa. (Etelä-Savon JTF-suunnitelma)

Etelä-Savon elinkeinorakenteessa painottuu maatalousvaltaisuus muuta maata voimakkaammin. Tavoitteena on löytää maaseudulle korvaavia lisätyömahdollisuuksia ja saada nuoret ja kausityöläiset pysymään alueella. Kehittämistarpeita on työntekijöiden uudelleen koulutus, jossa ongelmana on maaseudun työllisten

korkea keski-ikä. Haasteena on turvetuotantokaluston muutostarpeet ja uudelleenkäyttö. Koneille löytynee käyttöä luontokohteiden entistämistöissä ja metsätoissa. (Etelä-Savon JTF-suunnitelma)

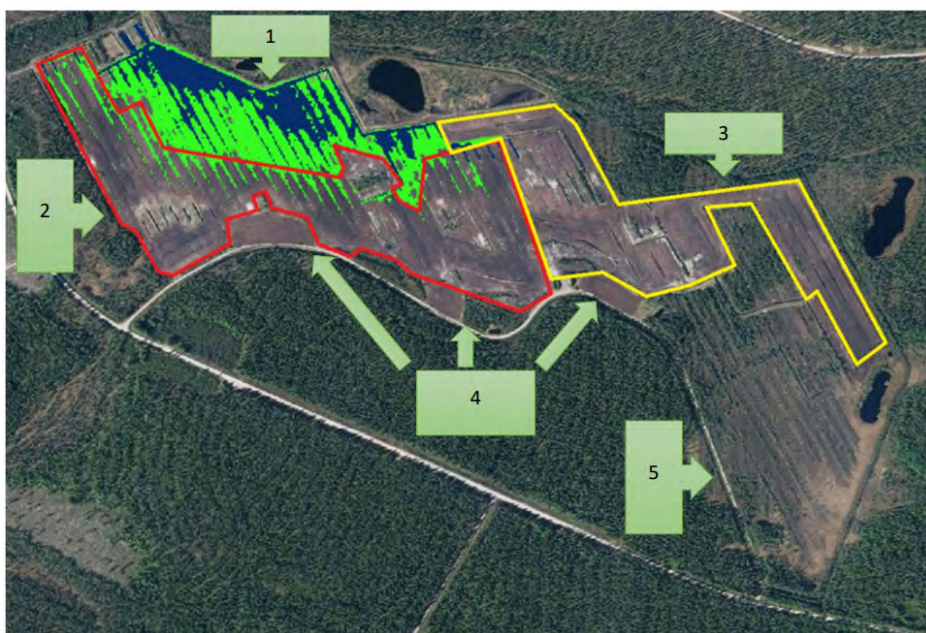
Käytöstä poistuneita turvetuotantoalueita ja turvetuotannon kuormittamia vesialueita kunnostetaan. Tavoitteena on vähentää alueiden kasvihuonekaasupäästöjä. Tähän tarvitaan tutkimusta alueiden käyttömahdollisuuksista, yhteistyötä yrittäjien ja maanomistajien kanssa, kenttäkokeiluja ja pilotteja sekä yrittäjien uudelleen koulutusta alueiden kunnostamiseen. Alueiden kunnostus- ja menetelmäkehitys mahdollistaa työtä nykyisille turvetuotantoyrittäjille ja lievittää sosioekonomisia vaikutuksia. Turvetuotannon poistuessa alueelle jää turvetuotannon vesiensuojelurakenteita, joiden ylläpito tulee suunnitella uudessa jälkikäyttövaiheessa. Etelä-Savon maakunnassa tuotannosta poistuneita suonpohjia on 1 800 hehtaaria.

Mitä jatkokäyttö on?

Alueiden jatkokäyttömahdollisuuksia on monia, esimerkiksi metsitys, nurmiviljelyyn siirtyminen tai kosteikon perustaminen. Suonpohjan pinnanmuodot vaikuttavat alueen vesitalouteen ja siten eri jatkokäyttömuotojen ilmastovaikutuksiin. Esimerkiksi helposti kuivuvat alueet voi olla järkevää metsittää, kun taas vettymiseen taipuvilla alueilla ilmastovaikutusten kannalta parempi vaihtoehto voi olla turvetta säilövän ja kerryttävän kosteikon perustaminen. (Ronkainen 2023)

Maanomistaja vastaa jatkokäytön suunnittelusta ja toteutuksesta, ja jatkokäytön suunnittelu suonpohjille voi olla haastavaa. Turvetuotannosta poistuville alueille jatkokäytön muoto tulee olla määritelty jo luvituksen yhteydessä, jolloin luvissa ei välttämättä ole huomioitu nykyisiä ilmasto- ja monimuotoisuustavoitteita. Turvetuotantoalueiden jatkokäytön vaihtoehdot ovat varsin monipuoliset. Suonpohjien omistajilla on omat tavoitteensa jatkokäytölle (taloudellinen tuotto, virkistäytyminen, luontoarvot, hiilensidonta jne.) sekä päätösvalta jatkokäytön valinnassa. Moni maanomistaja voi kuitenkin olla uuden haasteen edessä turvetuotannosta takaisin palautuvan suonpohjan kanssa. Mitä tehdä ja miten? (Ronkainen 2023)

Jokainen turvetuotannosta poistunut alue on erilainen, ja sopivia jatkokäyttömuotoja on usein jo yhden tuotantoalueen sisällä monia. Alueelle jäävän turpeen pakkaus ja pinnanmuodot vaikuttavat siihen, millaiseen jatkokäyttöön alue ja sen eri osat parhaiten sopivat. Turvetuotannon päätyttyä voidaan alueen eri osia esimerkiksi metsittää, uudelleen soistaa, rakentaa kosteikoksi, käyttää kosteikkoviljelyyn sekä hyödyntää biomassojen, aurinko- tai tuulivoiman tuotantoalueena. Kuvassa 2 on turvetuotannosta poistuneelle alueelle tehty ennakkosuunnitelma, jonka perusteella jatkokäytön muotoja voidaan tarkemmin suunnitella. (Ronkainen 2023)



KUVA 2. Esimerkki jatkokäytön ennakkosuunnitelmasta Tapio Oy:n TuiJa-hankeella tehdystä Kettusuon alueesta (kuva Tapio Oy:n Tuija-hankkeen julkaisusta).

Turvetuotannosta poistuvan alueen biologiset, luonnonsuojelulliset, veden määrän ja laadun sekä oikeudelliset ominaisuudet vaikuttavat siihen, mitä maankäyttömuotoja alueelle voidaan realistisesti tavoitella. Turvetuotantoalueen jatkokäytön muodot määräytyvät kasvupaikan ominaisuuksien, taloudellisten mahdollisuuksien, lainsäädännön ja maanomistajan tavoitteiden perusteella. Kasvupaikan ominaisuudet pitää tuntea, kun valitaan alueelle soveltuvia jatkokäyttömuotoja. Maanomistaja valitsee eri vaihtoehtoista itselleen tavoitteisiinsa parhaiten soveltuvan maankäyttömuodon. Lainsäädäntö saattaa rajoittaa joidenkin maankäyttömuotojen valintaa tietyillä kohteilla. Kuvassa 3 on esimerkki jatkokäyttöön siirtymisen aikana tehtävistä toimenpiteistä alueella. Kyseisessä tapauksessa alueelle rakennetaan kosteikko ja siihen tehdään patoja. (Matila & Alatalo 2023)



KUVA 3. Tuotantoalueen valtaojiin rakennetaan patoja, joiden avulla turvetuotantoalueelle pidätetään vettä (kuva Pasi Pakarinen).

Turvetuotantoalueen ympäristöluvan rauettaminen -huomioitava jatkokäytössä

Turvetuotantoalueiden jatkokäyttöön liittyy myös turvetuotantoon kohdistuneet ympäristöluvut ja niiden sisältö. Jatkokäyttöä suunniteltaessa ympäristölupaan liittyvät asiat tulee huomioida. Valvontaviranomaisella ja turvetuottajalla on säännöllisiä tapaamisia valvontasuunnitelman mukaisesti määräaikaistarkastuksien muodossa. Määräaikaistarkastusten yhteydessä selvitetään, miten kyseisen turvetuotantoalueen ympäristölupa tullaan rauettamaan. Onko ympäristöluvassa selkeät määräykset rauettamiseen vai onko rauettaminen määrätty puutteellisesti? Onko ympäristölupa toistaiseksi voimassa oleva vai määräaikainen? Lisäksi selvitetään, onko ympäristöluvassa riittävät määräykset vesien käsittelyn lopettamiseen vai onko siitä tarpeen määrätä tarkemmin? Ympäristöluvan rauettamiseen löytyy neljätoista erilaista vaihtoehtoa siirtyä seuraavaan maankäyttöön. (Matila & Alatalo 2023). Ympäristöluvan haltija on vastuussa luvan määräysten toteuttamisesta ja luvan rauettamiseen liittyvistä toimista.

Neuvontaa ja tiedotusta tarvitaan

Maanomistajat, joiden mailla turvetuotanto on loppumassa, joutuvat pohtimaan, mitä tehdä omistamallaan vanhalla turvetuotantoalueella. Nämä maanomistajat tarvitsevat apua, tukea ja neuvoja, jotta siirtyminen jatkokäyttöön tapahtuu laadukkaasti. Erityisenä haasteena on ollut, että apua ei ole ollut saatavilla ”yhden katon alta”, vaan maanomistajien on täytynyt hakea tietoa eri jälkikäyttömuodoista alakohtaisilta asiantuntijoilta, kuten metsätalouden tai maatalouden asiantuntijaorganisaatioista. MMM on rahoittanut Nappaa hiilestä kiinni -rahoituksella joukon hankkeita turvetuotantoalueiden jatkokäyttöön liittyen. Vuoden 2023 lopulla päättyi useita hankkeita, joiden tuloksena saadaan lisää tietoa turvetuotantoalueiden jatkokäyttömuodoista ja ohjeistusta jatkokäytön suunnitteluun.

Jatkokäytön viestinnän tavoitteena tulisi olla saavuttaa laaja-alaisesti maanomistajien sekä urakoitsijoiden kohderyhmä. Heille olisi tärkeää päästä osallistumaan erilaisiin neuvonta- ja demonstraatiotilaisuuksiin. Uudenlaisiin maankäyttömuotoihin siirryttäessä on myös viranomaisten ja urakoitsijoiden tietämystä lisättävä käytännön ohjeistusten ja sopimus pohjien avulla.

LÄHTEET

Etelä-Savon JTF-suunnitelma. Etelä-Savon maakuntaliitto 2022.

Matila, A. & Alatalo, I. 2023. Turvetuotannosta poistuvien alueiden maankäytön ohjauskeinot. Tapion raportteja nro 54.

Ronkainen, T. 2022. Turvetuotannosta hiiltä sitomaan. Metsälehti yliökirjoitus.

Tapio Oy. TuiJa-hanke.

BLUE ECONOMY MIKKELI AS A PRACTICAL LEARNING ENVIRONMENT FOR ENVIRONMENTAL ENGINEERING STUDENTS

Anna Kemppinen & Kristjan Kullaste & Sanni Kalilainen
& Zigmas Jucius & Juho Rajala

This publication is part of a project management course, during which the project group members planned an excursion day for the international environmental engineering study group EEMI21SP. The day included a study visit to the Blue Economy Mikkeli (BEM) wastewater treatment plant. Here, we deliver a brief overview of the BEM wastewater treatment plant and examine the importance of practical learning associated with environmental engineering studies in the subject of wastewater treatment, as well as the importance of BEM-related practical learning possibilities for the Environmental Engineering study programme at the South-Eastern Finland University of Applied Sciences. After the visit, a few student group members were interviewed for their ideas on whether it would be beneficial to combine this type of a learning environment with theoretical courses that cover wastewater treatment. We present the student points of view regarding the topic.

The multidisciplinary nature of the environmental engineering field increases the need for students to have both theoretical and practical knowledge of a wide range of subjects. To develop students' career interests in water expertise, the possibilities of increased practical learning opportunities for environmental engineering students in Mikkeli should be examined further.

Water expertise in Mikkeli

The Ecosairila area in Mikkeli is one of the five water clusters in Finland. (Team Finland N.d.) The Blue Economy Mikkeli centre, located in the area, concentrates on finding solutions and innovations for municipal wastewater treatment. In addition to a wastewater treatment plant, BEM accommodates testing and piloting facilities designed for the application of circular economy principles to the water sphere. The innovation topics vary from digital technologies, resource recovery, to building capacity on water know-how and climate-resilient water services. (Ecosairila

N.d.) Xamk has developmental projects in many of these areas, aiming to further the education, training and development of water management expertise. On the BEM web page, learning environments, training opportunities and workshops for students from universities of applied sciences are mentioned. However, there are no further examples or contact details for such practical learning opportunities.

Wastewater in an online study framework

Xamk's environmental engineering degree programme is taught in both English and Finnish. The studies in English are structured so that only the second year's teaching is delivered on campus, otherwise the studies are completed online. During the first year, one of the aims is to cover theoretical subjects that support second-year contact teaching.

The Water and Wastewater Treatment -course was conducted during the spring semester of the first year. The learning objectives were to understand the importance of water, water purification technology, wastewater collection and treatment, as well as to learn the technology and methods employed in such operations. After completing the course, the students should have ample knowledge in potable water production and wastewater treatment. To complete the course, students must pass an exam conducted remotely.

In the second year of studies, the aim was to study in practise (in both natural and laboratory environments) subjects such as water, soil and air sampling, and the subsequent analysis thereof, practical chemistry and ecotoxicology. However, Water and Wastewater Treatment, a first-year subject, did not have practical learning complementation in the second year. Had there not been the student-organised visit to BEM to increase understanding about wastewater treatment in Finland, there would not have been any connection between the course studied online and a practical learning environment whatsoever, even if the latter is present in Mikkeli and readily accessible.

Why practical learning is important for engineers

Theory-centred classroom education establishes a strong foundation of concepts and tools. However, it is the applied experiences that assist students in making connections between the pieces of theoretical information and helping to develop, as Brown et al. (1989) put it, the 'mental compendium' – a concise but detailed collection of materials and techniques in context.

Environmental engineering is a strongly multidisciplinary field, requiring aptitude in a wide range of natural science subjects, as well as economics and law. In such a wide field of study, it is of great importance that students develop their career interests in an informed manner. First-hand experiences in different industries and specialisations within the field present future professionals with the available options to specialise in, enabling them to make an informed choice and thus boosting their confidence. This can even lead to the acquisition of new passions.

Practical experiences help students expand their interdisciplinary expertise, all inside the realm of captivating learning environments. It's important that education be placed within a relevant experiential context, where the concepts may be understood to a much greater extent (Brown et al. 1989). In addition to consolidating students' knowledge and skills, authentic situations are known to be a motivating factor (Walkington et al. 1994). Practical applications of the field's knowledge are immersive examples of how different study subjects blend together to tackle various problems related to both natural and human-made environments. Exposure to real-world projects enables environmental engineers to see the implications and importance of their work, as well as showcases exemplary implementations of field-specific knowledge.

The Blue Economy Mikkeli wastewater treatment plant is truly an example of great engineering achievement. It provides the crucial municipal service of treating wastewater produced by the local area, while demonstrating the best available techniques of doing so. It also fosters and integrates the development of circular economy concepts that touch on what is increasingly named a precious commodity – clean water. The context of worldwide clean water reserve depletion underlines the importance to have ample practical competence about the subject.

Material and methods

Seven randomly selected members of the Environmental Engineering study group were interviewed in order to better understand the students' impressions and the impact of the visit to the BEM wastewater treatment plant (WWTP). The impressions were gathered in the form of a short interview containing four questions. The students were asked about what they remembered and had learned from the visit; if the operation of the plant relates to similar courses at Xamk (and if so, how); whether BEM should be further integrated into the Environmental Engineering programme; and whether they were interested in further cooperation with the facility in the future.

Results and discussion

Several interviewees were surprised at how large and automated the WWTP was (Figure 1). The equipment, such as screening machinery, membrane bioreactors and the on-site quality monitoring laboratory, also stood out. Students were interested to learn how a circular economy viewpoint is implemented at the WWTP and the surrounding area, as the sludge and screened solid material are used for biogas and energy production. Furthermore, the visitors were impressed by the dedicated physical space to develop operational equipment and conduct research and development projects. It was evident that the municipality had carefully planned the area near the facility to create opportunities for businesses to construct water-intensive operations nearby, promoting industrial symbiosis.



FIGURE 1. Panu Jouhkimo (Miksei Oy) introducing the operations at the wastewater treatment plant (picture Zigmás Jucius).

All interviewed students found that BEM had substantial links to the wastewater treatment and environmental modelling courses. The visit was believed to have complemented both courses, as it made the preceding theory easier to understand. Some students thought the visit's timing in relation to the similar courses refreshed the theory. However, most believed that the theory backbone and the visit occurred too far apart, specifically from the wastewater treatment course, but also from the environmental modelling course; consequently, too much of the theory had been forgotten by the time of the visit to create a strong connection between the theoretical and practical aspects of the field.

Every interviewee believed BEM should be part of the study programme and did not understand why such an opportunity to improve both BEM and the programme content had not already been taken advantage of. Many students pointed out that communication and experience in a “state-of-the-art” facility can have a significant inspirational effect. Students are thus more likely to understand the field and pursue work in it, as they are aware of existing career pathways and their inner workings. Furthermore, BEM can be integrated into a variety of subjects within the programme, such as ecotoxicology and laboratory skills courses.

Most of the interviewed students expressed interest in further cooperation with BEM regarding, for example, theses, projects and internships. However, cooperation is hindered by the programme’s online-oriented structure. BEM’s location is unsuitable for most of the students, who are studying from across both Finland and the world.

Conclusion

The students’ learning experiences at Blue Economy Mikkeli were overall similar, with everyone feeling that the visit supported the previously received theoretical teaching. However, the time between the theoretical studies and the visit did not allow for an effective assimilation of knowledge. The principal challenges of the English-language Environmental Engineering degree programme are the structure of the studies and effectively complementing field-relevant theory with practical teaching, which would support learning. All of the interviewed students believed that the visit to Blue Economy Mikkeli did support their learning, even though a year had passed since the relevant theoretical teaching. They additionally noted that the educational institution’s enhanced cooperation with local companies and operators could render great results. The students believed that it would not only support learning, but also foster networking with potential future employers.

Nonetheless, it must be pointed out that had the visit not been organised by the student project, there would have not been any practical connection with the related course, studied online, at all. From this point of view, it’s important to promote cooperation between education in Xamk and Blue Economy Mikkeli by, for example, organising regular visits and workshops. This could provide environmental engineering students with the possibility to familiarise themselves with practical technology expertise and RDI-activities in the field of wastewater treatment.

REFERENCES

Brown, J. S., Collins, A. & Duguid, P. 1989. Situated cognition and the culture of learning. *Educational Researcher*, Vol. 18, 01, p. 32-41. Washington, DC: American Educational Research Association.

Ecosairila. N.d. BEM – Europe's most advanced industrial-scale centre of excellence in water technology. Web page. Available at: <https://ecosairila.fi/en/blue-economy-mikkeli-en/bem-centre-of-excellence/> [Accessed 15th July 2023].

Team Finland. N.d. Water solutions and expertise from Finland. PDF document. Available at: <https://ecosairila.fi/wp-content/uploads/2023/03/water-solutions-and-expertise-final-1.pdf> [Accessed 15th July 2023].

Walkington J., Pemberton P. & Eastwell J. 1994. Practical work in engineering: A challenge for distance education. *Distance Education*, 15:1, p. 160-171. Available at: <https://doi.org/10.1080/0158791940150111> [Accessed 15th July 2023].

PUUMATERIAALIN PINTAHIILTÄMISEN KEHITTÄMINEN – PUUPIHI

Hannu Turunen

Luonnollisen sääräsituksen testiympäristön rakentaminen mikkelin kampukselle ja koekappaleiden testaaminen

Puumateriaalin pintahiiltämisen kehittäminen -tutkimushankkeen tavoitteena oli kehittää teollista menetelmää puumateriaalin pinnan hiiltämiseksi sekä tuottaa lisää tutkittua tietoa hiilletyn pintakerroksen ominaisuuksista. Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulun (Xamk) tutkimushanke toteutettiin 11.2020–30.6.2023. Hanketta rahoitti Etelä-Savon maakuntaliitto Euroopan aluekehitysrahastosta 80 prosentin osuudella. Lisäksi hanketta rahoittivat Finnstamm Oy, Luxhammar Oy, Lunawood Oy, Stora Enso Wood Products Oy, Tehomet Oy ja Xamk.

Hankkeen tuloksena saatiin toteutettua kehittyneempi, teollisen prosessin mukainen pintahiiltämislaitteisto ja rakennettua luonnollisen sääräsituksen testiympäristö. Lisäksi hankkeen tuloksena saatiin todennettua tietoa puun pintahiiltämisestä ja menetelmän vaikutuksesta materiaalin ominaisuuksiin. Hankkeessa tutkittiin myös kierrätysmateriaalien käyttöä hiillettyjen tuotteiden raaka-aineena. Hankkeen myötä on myös selventynyt kierrätetyn puumateriaalin uudelleenkäytön mahdollisuudet kehitettyä menetelmää hyödyntäen.

Testaus- ja tutkimustyön tuloksena saatiin tietoa hiilletyn pinnan fotokemiallisesta hajoamisesta niin keinovanhennustesteistä kuin luonnollisen vanhentamisen kokeista. Samalla saatiin lisätietoa erilasten UV- ja sääräsitustestien korrelaatiosta keskenään. Lisäksi saatiin testituloksia pintahiillettyjen materiaalien palo-ominaisuuksista kartiokalorimetri- ja SBI-testeissä (Single burning item). Materiaalitestauksesta saatuja tuloksia voidaan hyödyntää hiilletyn materiaalin käytön lisäämiseksi esimerkiksi ulkokäyttökohteissa. Hankkeen tuloksia voidaan myös hyödyntää pintahiiltomenetelmän kehittämisessä edelleen sekä menetelmän ja tuotteiden kaupallistamisessa.

Puumateriaalin pintahiiltäminen on perinteinen suojaamis- ja käsittelymenetelmä. Pintahiiltämistä käytetään nykyään muun muassa julkisivuverhousmateriaalin

käsittelymenetelmänä. Markkinoilla olevat tuotteet ovat joko hiiltokäsiteltyjä tai harjattuja ja/tai öljytyjä, ja lisäksi tarjolla on palosuojattuja tuotteita.

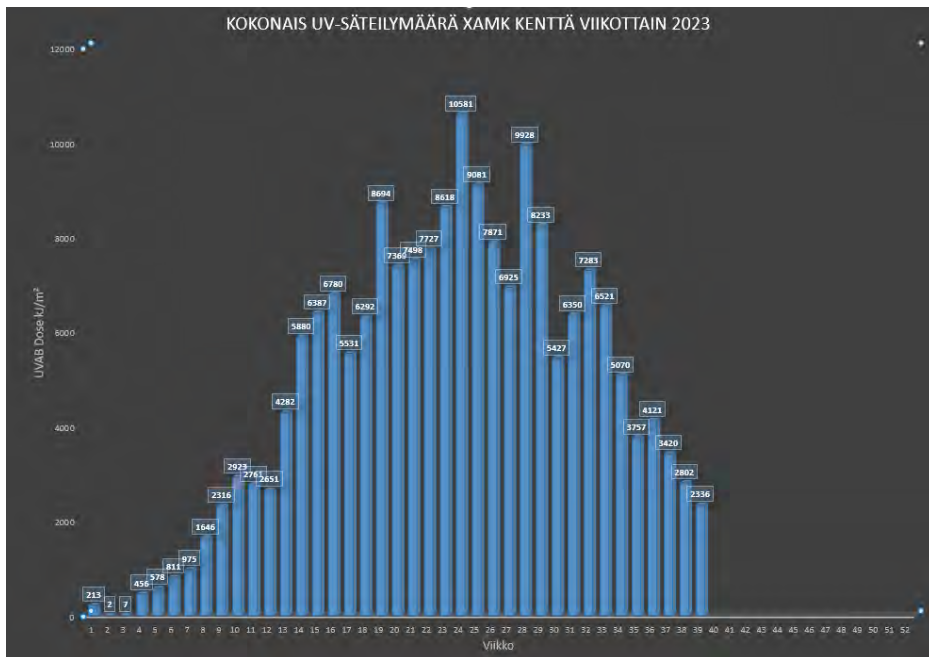
Luonnollisen säärasituksen testiympäristön rakentaminen Mikkeliin

PuuPiHi-hankkeen kuluessa rakennettiin Mikkelin kampukselle testiympäristö luonnollisen säärasituksen testaamista varten. Mikkelin testikentän näytetelineet on esitetty kuvassa 1. Luonnollista säärasitusta käytetään erilaisten muun muassa pintakäsiteltyjen tuotteiden testaamiseen, kuten puupohjaiset ulkoverhous-tuotteet sekä komposiitti-, metalli- ja muovituotteet. Ulkotestikentällä tuotteita altistetaan luonnolliselle säärasitukselle niiden suunniteltua käyttöympäristöä vastaavissa olosuhteissa.



KUVA 1. Mikkelin testikentän näytetelineet (kuva Hannu Turunen).

Testiympäristön suunnittelutyö aloitettiin hankkeen keväällä 2020. Testiympäristön perustamista varten hankittiin näytetelineet, sääasema, UVA- ja UVB-radiometri ultraviolettisäteilyn mittaamista varten sekä järjestelmät tiedonsiirtoa ja käsittelyä varten. Säädatan mittaamista varten on tarjolla paljon eri hintaluokan mittalaitteita. Testikentälle hankittiin laadukkaat Kipp & Zonen SUV-A- ja SUV-B-radiometrit sekä ilmankosteuden ja -lämpötilan mittaamiseksi Väisälän WXT 530 -sääasema. Mittalaitteet kytkettiin lähiverkon avulla sääaseman tietokoneeseen, jossa tiedonkäsittely tapahtuu Excel-taulukkolaskentaohjelmassa. Excelissä raakadatasta muokataan makrojen avulla säätaulukoita. Kuvassa 2 on esitetty vuoden 2023 mittauksista koostettu viikoittainen UV-säteily määrä vuoden alusta viikolle 40 asti.



KUVA 2. Kuvaajassa on esitetty UVA- ja UVB-säteily määrä vuonna 2023 Mikkelissä. Kertymä vuoden alusta viikon 39 loppuun.

Hankkeen toimet oli jaettu yhdeksään työpakettiin. Työpaketissa viisi rakennettua testiympäristöä käytettiin luonnollisen säärasituksen selvittämiseen. Kenttäkoikeista saatuja tuloksia verrattiin nopeutettujen, keinotekkoisten säärasitustestien tuloksiin. Vertailun tarkoituksena oli selvittää, kuinka erilaiset keinotekkoiset säärasitusmenetelmät korreloivat luonnollisen säärasituksen kanssa. Keinotekkoisia säärasitustestejä tehtiin hankkeen työpaketissa neljä. Keinotekkoisten säärasitusten tulosten lisäksi vertailua oli tarkoitus tehdä ulkomaisilta testikentiltä saatavien tulosten välillä. Kansainvälisen yhteistyön tarkoituksena oli myös lisätä Xamkin tunnettavuutta alan muiden toimijoiden parissa.

Luonnollisen säärasituksen testaaminen

Luonnollisessa säärasitustestissä koekappaleet altistetaan säärasitukselle ulkotesitikentällä. Standardin mukaisessa testissä koekappaleista mitataan pinnan värin muutosta L x a x b -väriavaruudessa ja kiiltoasteen muuttumista sekä arvioidaan visuaalisesti pinnoitteessa mahdollisesti tapahtuvia muita muutoksia, kuten halkeamia tai hilseilyä. Testikentältä mitataan UVA- ja UVB-säteilyä sekä ilmakehän lämpötilaa ja sademäärää.

Hankkeessa luonnollisen säärasituksen kenttäkokeet aloitettiin Mikkelissä, Ranskassa Bordeaux'n sekä Uruguayssa Rochan ja Tacuarembón testikentillä. Tarkoituksena oli altistaa vastaavanlaiset koekappaleet erilaisille ulkoilmastoille ja mittaamalla todentaa, kuinka pintahiilletty sekä pintahiilletty ja öljyitty pintakerros käyttäytyy erilaisessa säärasituksessa sekä erilaisissa ilmasto-olosuhteissa. Lähes koko Uruguayssa vallitsee kostea subtrooppinen ilmasto, mutta Rochan kenttä sijaitsee rannikolla ja Tacuarembón kenttä sisämaassa. Tacuarembón testikenttä on lähempänä päiväntasaajaa, ja kentän sijainnin leveysaste on noin 31° eteläistä leveyttä. Rochan kentän sijainnin leveysaste on noin 34°. Bordeaux'n testikenttä Ranskassa sijaitsee noin 47° leveyspiirin pohjoista leveyttä kohdalla, ja kentän ilmasto on merellinen. Ilmastotyyppiltään Suomi kuuluu lumi- ja metsäilmaston kostea- ja kylmätalviseen tyyppiin. Tarkemmin määriteltynä Mikkelin kenttä sijaitsee sisämaassa eteläborealisella vyöhykkeellä, noin 62° pohjoista leveyttä kohdalla. Kenttien maantieteellinen ja ilmastollinen sijainti toisiinsa nähden on huomattavan erilainen.



KUVA 3. Pintahiillettyt koekappaleet Bordeaux'n testikentällä syksyllä 2022 (kuva Laurence Podgorski).



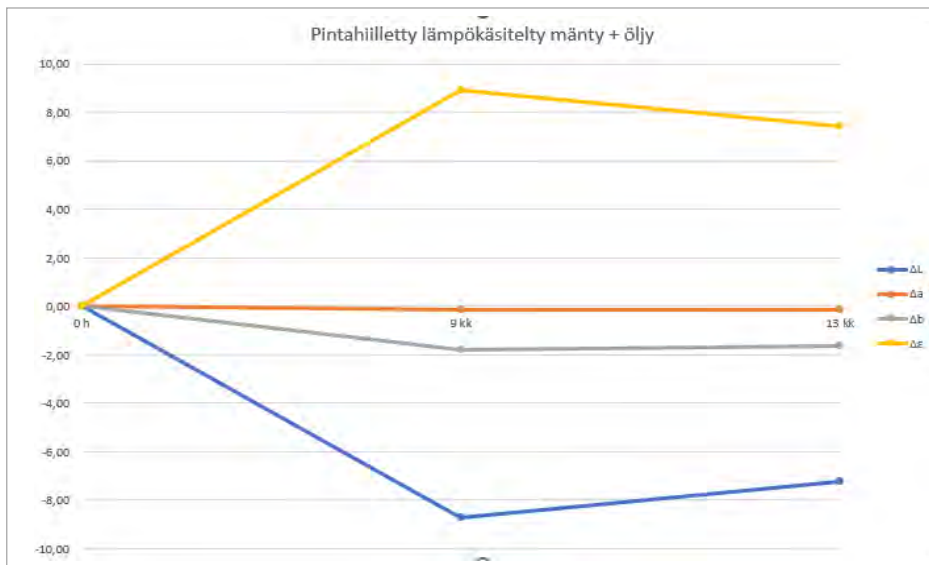
KUVA 4. Esimerkki luonnollisen säärasituksen testiolosuhteista Suomessa. Pintahiililettyjä koekappaleita Mikkelin testikentällä talvella 2022. (kuva Hannu Turunen)



KUVA 5. Pintahiililettyjä koekappaleita Mikkelin testikentällä kesällä 2023 (kuva Hannu Turunen).

Koekappaleiden pintahiiltokäsittelyt tehtiin työpaketissa yksi. Pintahiiltokäsittelyt tehtiin käyttäen suurtehonestekaasupoltinta. Samalla laitteistolla ja käsittelyparametreillä käsiteltiin koekappaleita myös SBI-, kartiokalorimetri- ja vedenimeytymätesteihin sekä taivutuslujuuden määrittämiseen. Käsittelynopeuksia oli kolme: 1 m/min, 1,5 m/min ja 2 m/min. Hitaimmalla käsittelynopeudella kaasunkulutuksen keskiarvo oli 0,24 kg /m². Öljytyt kappaleet käsiteltiin pintahiiltämisen jälkeen Tikkurilan vernissalla. Öljyminen tehtiin pitkille, 2 500 mm:n koemateriaali-aihioidelle, ja öljyn menekki oli noin 475 g/m². Standardin EN 927-3 mukainen testikappale on mitoiltaan 375 mm x 78 mm x 20 mm. Pintahiillettyjen sekä pintahiillettyjen ja öljytyjen koemateriaali-aihioiden pituus oli noin 2 500 mm, joten samoista kappaleista saatiin sahattua riittävä määrä standardin mukaisia koekappaleita jokaiselle testikentälle. Koekappaleiden valinta tehtiin niin, että testikentille toimitettiin koekappaleita satunnaisesti aihioiden eri osista. Koekappale-eriä oli neljä: pintahiilletty kuusi, pintahiilletty lämpökäsitelty mänty, pintahiilletty ja öljyty kuusi sekä pintahiilletty ja öljyty lämpökäsitelty mänty.

Mikkelin testikappaleiden värimittausten perusteella voidaan sanoa, että vuoden ulkorasituksessa öljyämättömien koekappaleiden väri vaaleni ja öljytyt muuttuivat hieman tummemmiksi. Mikkelin testikentän värimittaustuloksien pohjalta tehty kuvaaja pintahiilletyn ja öljytyyn lämpökäsitellyn männyn värimuutoksista on esitetty kuvaajassa 2. Väriavaruuden L-, a- ja b-arvot mitattiin Konica Minolta CM – 26dG -spektrofotometrillä. L-arvo tarkoittaa vaaleutta, ja se esitetään arvoilla 0...100. Asteikossa 0 on täysin musta ja 100 täysin valkea. A kuvaa arvoja vihreästä punaiseen asteikolla –60...+60 ja b sinisestä keltaiseen asteikolla –60...+60. Kuvaajassa 2 merkki Δ tarkoittaa muutosta ja vertailukohtana on ennen sääräsitusta tehdyt mittaukset.



KUVA 6. Kuvaajassa on esitetty pintahiilletyn ja öljytyn lämpökäsitellyn männyn värimuutokset vuoden luonnollisessa säärasituksessa Mikkelissä.

Eniten värin kokonaisarvo (ΔE) muuttui pintahiilleyssä ja öljytyssä lämpökäsitellyssä männyssä. Öljyttyjen ja pintahiilleytyjen lämpökäsitellystä männystä valmistettujen kappaleiden väri muuttui tummemmaksi (ΔL). Myös pintahiilleytyissä ja öljytyissä kuusikoe-kappaleissa väri muuttui testin aikana alkumittausta tummemmaksi. Öljyamättömien sarjojen kappaleiden värit vaalenivat hieman verrattuna testiä edeltäviin mittauksiin. Öljyamättömien kappaleiden pintahiilikerros on alttiimpi mekaaniselle rasitukselle kuin öljyttyjen. Öljyamättömistä kappaleista pintakerros hilseilee öljyttyjä enemmän. Luonnollisten säärasitusten tulosten vertailua ei tehty hankkeen kuluessa, sillä Uruguay ja Ranskan säärasitustestit valmistuvat vasta hankkeen päättymisen jälkeen.

PALOSUOJAUKSEN PITKÄAIKAISKESTÄVYYS

Juho Peura

Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoululla (Xamk) toteutettiin palosuojauksen pitkäaikaiskestävyyden tutkimiseksi suunnattu hanke. Hanke jaettiin tutkimushankkeeksi sekä rinnalla toteutettavaksi investointihankkeeksi. Tutkimushankkeessa (1.5.2021–30.4.2023) selvitettiin ja tutkittiin palosuojatun puumateriaalin pitkäaikaiskestoa ja testausmenetelmiä ja tuotettiin niistä tietoa puu- ja rakennusalan yrityksille, rakennustuotteiden valmistajille, suunnittelijoille ja käyttäjille. Hankkeiden yhtenä isona tavoitteena oli myös ottaa käyttöön uusi tutkimusmenetelmä, joka mahdollistaa puu- sekä myös muiden tuotteiden palotestauksen Xamkilla. Rinnakkaisen laitehankkeen (1.5.2021–30.4.2022) johdosta Xamkille saatiin hankittua kartiokalorimetriallaitteisto. Uusi palotestauslaite sijaitsee Mikkelissä ja on jatkossa teollisuuden ja tutkimuslaitosten käytettävissä. Laitteisto tukee maakunnan teollista kehitystä ja myös Xamkin Etelä-Savon kampusten välistä yhteistyötä muun muassa puurakentamisen alueella. Hankkeita rahoittivat Etelä-Savon maakuntaliitto Euroopan unionin Aluekehitysrahastosta sekä hanketoimijat. Tässä julkaisussa esitellään hankkeiden toteutusta ja tuloksia.

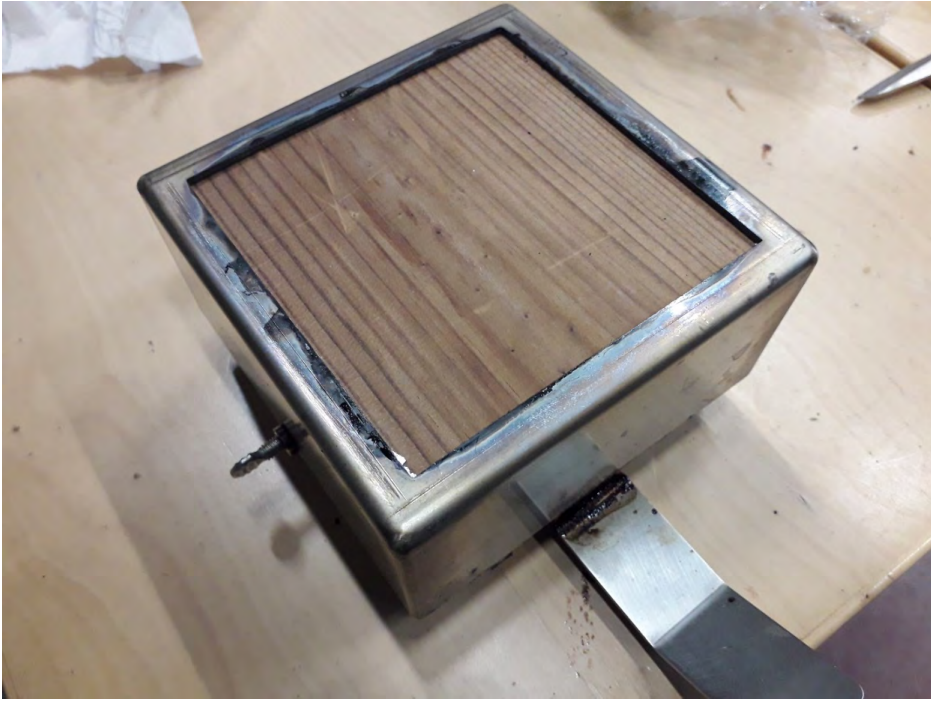
Hankkeen toteutusta

Hankkeessa keskityttiin tutkimaan palosuojauksen pitkäaikaiskestävyyden näkökulmasta INT2- ja EXT-käyttöluokkaa. Nämä käyttöluokat ovat palosuojauksen tason säilymiselle haasteellisimpia, sillä INT2-luokassa palosuojattu materiaali altistuu kosteudelle ja EXT-luokassa taas materiaalit joutuvat kestäväseen auringon UV-säteilyä sekä sadetta. Tarkemmat kuvaukset luokittelusta ja vaatimuksista on esitetty EN 16755 -standardissa. Samalla EN 16755 -standardista voitiin poimia tavoitteita myös tutkimusympäristön kehittämiseksi, sillä standardissa on kuvattu palosuojattujen tuotteiden pitkäaikaiskeston testaamiseen tarvittavia laitteistoja ja testausmenetelmiä. Tärkeimpänä yksittäisenä laitteena nousi esiin palotestauslaitteisto sekä standardin vaatimukseen soveltuva sääkaappi. Nämä laitteistot mahdollistavat palosuojauksen pitkäaikaiskeston tutkimisen standardien vaatimalla tavalla. Varsinaisiin palosuojakäsittelyihin Xamkilta löytyy valmiiksi kattavat laitteistot, joten hankkeessa päästiin tekemään palosuojakäsittelyjä pintakäsittelyinä sekä myös painekyllästyksinä.

Tutkimushankkeen alussa selvitettiin palotestilaitteen vaatimukset sekä asetettiin sen perusteella laitehankinnalle kriteerit ja käynnistettiin hankinnan kilpailutus. Rinnakkaisohanke mahdollisti varsinaisen palotestauslaitteen investoinnin ja samalla myös mahdollisti standardien mukaisen palotestauksen käynnistämisen Xamkilla (laitteisto kuvassa 1). Uudella palotestauslaitteella pystytään tekemään muun muassa standardien ISO 5660-1 ja ASTM E1354 mukaisia palotestejä. ISO 5660-1-standardi on myös yksi testausmenetelmä palosuojauksen pitkäaikaiskeskustön tutkimisessa, mutta samalla standardin mukaisella menetelmällä pystytään tutkimaan materiaalien palokäyttäytymistä 100 mm x 100 mm:n kokoisella näytteellä (kuva 2). Laitteella saadaan tutkittua muun muassa mahdollista syttymisaikaa, materiaalista vapautuvaa lämpöä, savuntuottoa sekä massahäviötä palotilanteessa. Tulosten perusteella pystytään arvioimaan materiaalin käyttäytymistä esimerkiksi SBI-palokokeessa. Laite soveltuu hyvin myös alustavaan testaukseen, jos halutaan selvittää useammalla eri palonsuoja-ainemäärällä suojattujen tuotteiden potentiaalia palonsuojauksessa. Kartiokalorimetrin yhtenä etuna on pieni testattava koekappale, joten samasta laudasta saadaan hyvin vertailunäytteitä eri testivariaatioihin. Tällä voidaan minimoida puumateriaalin aiheuttamat luonnolliset vaihtelut lähtötilanteessa ja pystytään näin kohdistamaan tutkimus halutun ominaisuuden tutkimiseen. Toisaalta pieni koekappale lisää tarkkuutta näytteen valinnassa, jotta se edustaa riittävällä tarkkuudella koko kappaletta tai valmista tuotetta.



KUVA 1. Kartiokalorimettilaitteisto Xamk Mikkeli (kuva Juho Peura).



KUVA 2. Testattava näyte näytepidikkeessä (kuva Juho Peura)

Uuden sääkaapin hankinta toteutettiin myös kilpailutuksen kautta. Kilpailutuksessa painotettiin standardin mukaista säärasitusta sekä riittävää koekappaleen pituutta. Palosuojatun tuotteen säärasituskokeissa tärkeimpänä yksittäisenä asiana on se, että sääkaappiin saadaan riittävän pitkä koekappale säärasitukseen. Liian lyhyt koekappale saattaa säärasituksessa vääristää lopputulosta, ja näin ollen myös tulosten tulkinta hankaloituu. Kuvassa 3 on esitetty uusi säätetikaappi. Uudella sääkaapilla pystytään toteuttamaan UV- ja sadetussäärasituksia muun muassa EN 927-6 -standardin vaatimusten mukaisesti. Laitteistossa on oma säteilytehon mittaus sekä säätö, ja tämä mahdollistaa kokonaissäteilytehon seurannan testin aikana. Säteilytehon perusteella pystytään arvioimaan ja laskemaan vuotuis- ta säteilymäärää, joka vastaisi luonnollisissa olosuhteissa auringon UV-säteilyä.



KUVA 3. ATLAS UV -sääkaappi (kuva Juho Peura)

Palonsuoja-aineita hankkeen tutkimuksiin saatiin hankkeeseen osallistuvilta yrityksiltä. Puumateriaalia saatiin Lämpöpuuyhdistys ry:n jäsenyrityksiltä sekä hankintana hankkeen ulkopuoliselta yritykseltä. Palonsuojakäsittelyt aloitettiin tutkittavien materiaalien saavuttua Xamkin puulaboratoriolle Mikkeliin. Käsittelymenetelmänä toimi pääasiassa painekyllästys- ja sivelykäsittelyt. Kyllästyskäsittelyissä materiaaleja palosuojattiin useilla eri ainemäärä- sekä tunkeumatavoitteilla. Samalla pystyttiin tutkimaan palonsuoja-aineen käyttäytymistä käsittelyissä ja tutkimaan eräkohtaisesti eroja erilaisten koekappaleiden välillä. Kyllästyskäsittelyissä hajontaa aiheutti pinta- ja sydänpuuosuuksien vaihtelut, mutta samalla saatiin hyviä koekappaleita palo-ominaisuuksien haarukointiin eri ainemäärillä. Koekäsittelyistä valittiin tulosten perusteella koemateriaalit palosuojauksen lähtötilanteen selvittämiseen sekä myös palosuojauksen pitkäaikaiskeston tutkimiseen. Käsittelyissä seurattiin myös pinnan laatua käsittelyn jälkeen, sillä palonsuoja-aineilla on ominaisuutena muodostaa kiteitä kappaleen pintaan. Seuraavassa kuvassa 4 on esitettyä koemateriaalia kyllästyskäsittelyn jälkeen, jossa myös pinnanlaatu on hyvä.



KUVA 4. Palonsuoja-aineella kyllästettyä UTV-kuusipaneelia (kuva Juho Peura).

Palosuojauksen lähtötasona tavoiteltiin pääasiassa B-pintaluokkaa. Sopivan pintapaloluokan löydyttyä aloitettiin palosuojauksen pitkäaikaiskeston tutkiminen ja sen kehittäminen. Pitkäaikaiskeston kehittämiseksi ja samalla myös pintakäsittelyn vaikutusten tutkimiseksi saatiin maalia hankkeen ulkopuoliselta yritykseltä. Tällä maalilla tehtiin koesarjoja palokokeisiin sekä säärasituskokeisiin. Rinnakkaisia koekappaleita maalattiin SBI-palo- sekä kartiokalorimetripalokokeisiin. Näillä kokeilla pystyttiin testaamaan palonsuoja-aineen ja maalin toimivuus keskenään, yhdistelmän toimivuus palokokeissa sekä palosuojauksen pitkäaikaiskestossa. Palokokeissa hyödynnettiin suurelta osin laitehankkeessa investoitua kartiokalorimetriä, mutta rinnalla myös SBI-palokokeita. Hankkeen tutkimuksissa havaittiin, että kartiokalorimetrituloksissa voidaan havaita maalin vaikutus. Näillä menetelmillä pystyttiin tutkimaan hankkeessa palosuojauksen pitkäaikaiskestävyyttä sekä samalla kehittämään tutkimusosaamista hankkeen mahdollistamassa uudessa tutkimusympäristössä ja viemään välittömästi menetelmistä tietoa yrityksille.

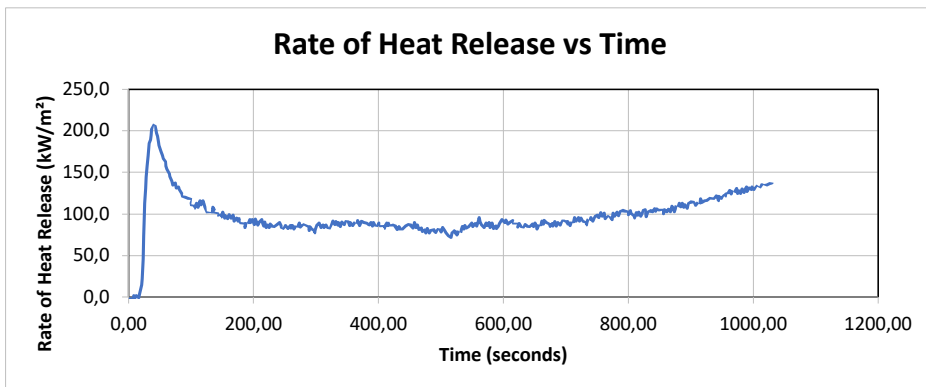
ISO 5660-1 -palotestausta ja tuloksia

ISO 5660-1-kartiokalorimetrikokeessa näytettä altistetaan lämpösäteilylle 50 kW/m² koko testin ajan ja laitteisto mittaa koekappaleesta vapautuvan lämmön sekä savuntuoton ja massahäviön. Laitteella on mahdollista toteuttaa testausta myös muulla lämpösäteilyteholla. Mahdollinen syttyminen testin aikana havaitaan visuaalisesti, ja se saadaan tallentumaan tuloksiin laitteen omalla painonapilla (kuva 5).



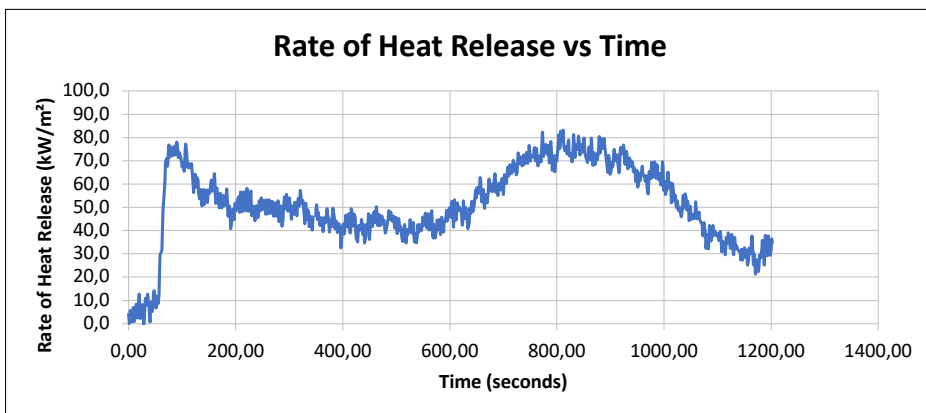
KUVA 5. Kartiokalorimetritestaus ja tuotteen syttyminen (kuva Juho Peura)

Lämmönvapautumiskuvaaja kertoo tuotteen palokäyttäytymisestä. Yleisesti puumateriaaleilla ensimmäinen piikki kuvaajassa ilmaisee näytteen syttymisen, koska silloin lämmönvapautuminen on yleensä suurinta. Puumateriaalin hiiltymisen hidastaa palon etenemistä ja samalla lämmön vapautumista, ja tämä voidaan myös havaita tuloksista. Palonsuoja-aineet pyrkivät hidastamaan tai estämään syttymistä, joten tällaisilla tuotteilla lämmönvapautumiskuvaajasta ei välttämättä nähdä korkeaa piikkiä kokeen alussa. Seuraavissa kuvissa 6–9 on esitetty esimerkkinä kuusimateriaalin lämmönvapautumista ISO 5660-1 kartiokalorimetrikokeissa.



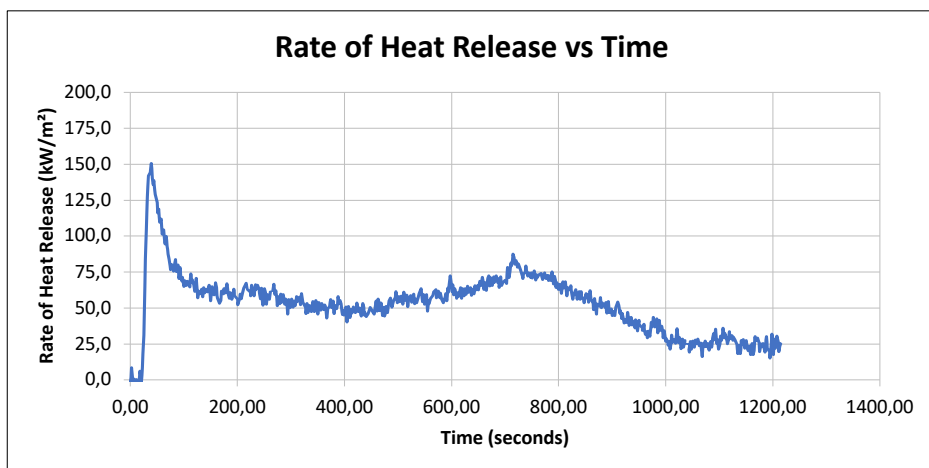
KUVA 6. Palosuojaamattoman kuusen lämmönvapautumisnopeus.

Kuva 6 esittää palosuojaamattoman kuusen lämmönvapautumista ISO 5660-1 kartiokalorimetrillä. Kuvaajasta nähdään selvä piikki testin alkupuolella, jossa näytteen syttyminen on mahdollisesti tapahtunut. Syttymisen jälkeen lämmönvapautuminen on hidastunut puumateriaalin hiiltymisen vuoksi.



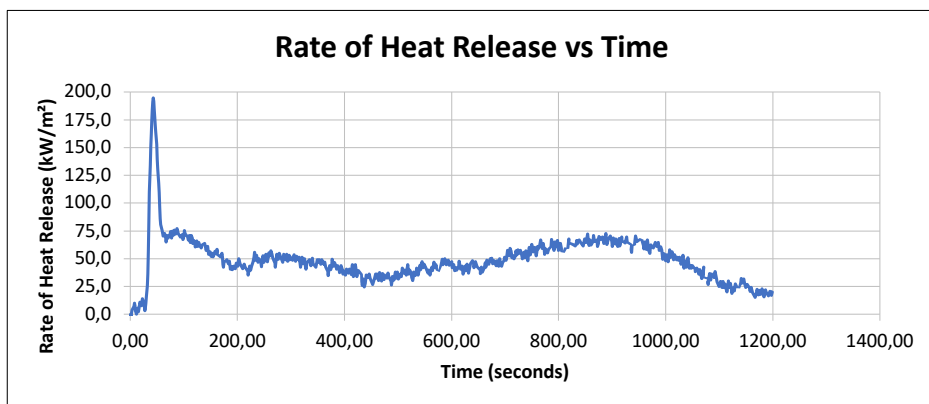
KUVA 7. Palosuojatun kuusen lämmönvapautumisnopeus.

Kuvasta 7 nähdään, että palosuojatulla kuusella testin alussa lämmönvapautuminen on ollut selvästi maltillisempaa kuin kuvassa 6 palosuojaamattomalla kuusella.



KUVA 8. Palosuojattu ja säärasitettu kuusi.

Kuva 8 esittää palosuojatun ja säärasitetun kuusen lämmönvapautumista ISO 5660-1 -palotestissä. Testin alussa lämmönvapautuminen on selvästi suurinta, ja näin ollen säärasitus on huuhtonut pinnasta palonsuoja-ainetta pois (vertaa kuvat 7 ja 8).



KUVA 9. Palosuojattu ja maalattu kuusi

Kartiokalorimetrillä voidaan havaita myös maalin aiheuttama lämmönvapautuminen (palaminen) palosuojatun puun pinnalla. Kuvassa 9 nähdään selvä piikki lämmönvapautumisessa testin alkupuolella (vertaa kuva 7 ja 9).

SUUREN MITTAKAAVAN TUTKIMUSYMPÄRISTÖJÄ TEOLLISUUSYHTEISTYÖHÖN

Lasse Pulkkinen

Teollinen yhteistyö on Xamkille tärkeä osa TKI-toimintaa, niin tilaustutkimuksessa, yritysten kanssa tehtävässä kahdenkeskisessä teknologiayhteistyössä kuin julkisten toimijoiden ja yritysten yhteistyössä rahoittamissa kehityshankkeissakin. Teoreettisen ja niin kutsutun kirjoituspöytätyön ohella TKI-toiminnalle tunnusomaista on kokeellinen työ, jota tehdään eri mittakaavan tutkimus- ja koeympäristöissä.

Soveltava tutkimus on helpointa ja toistettavinta pienessä mittakaavassa, kuten pienillä muutaman desilitran tai maksimissaan yksittäisten litrojen mittakaavoissa. Tällöin toiminnan kustannukset, kokeiden ja mittausten toistettavuus, henkilöstöresurssit ja käsiteltävien raaka- ja lisäaineiden määrät ovat helposti hallittavissa. Xamk Kuitulaboratorion teollisuutta palvelevan tutkimus- ja koeympäristön toiminnan suunnittelun ja tutkimusympäristöjen mitoittamisen lähtökohtana on ollut prosessi- ja laiteteknisen tutkimuksen osalta ”pienimmän teollisen mittakaavan” periaate. Laitteistot, virtaustekniset ympäristöt, kuten pumput, putkistot ja säiliöt toimilaitteineen, edustavat tällöin pienimpien teollisten ympäristöjen mittakaavaa ja standardikokoja. Näin voidaan suhteellisen ketterästi ja tehokkaasti simuloida teollisia ympäristöjä uusien innovaatioiden tutkimuksessa ja kehitystoiminnassa.

Lähellä teollista mittakaavaa olevat niin kutsutut konttitason tutkimusympäristöt ovat osoittautuneet myös toimiviksi raaka-aineiden sekä prosessien ja laitteiden optimointitutkimusten ympäristöiksi. Näitä ovat esimerkiksi yhteistyössä yritysten kanssa käytössä olevat hiilidioksidin talteenotto-prosessin ja vedenpuhdistusprosessien pilot-kontit sekä Mikkelissä käytössä oleva BioLuuppi-demonstraatioympäristö, jolla tutkitaan biokaasuprosessien toimivuutta.

Viime vuosina näiden tutkimusympäristöjen täydennykseksi on kuitenkin Xamk Kuitulaboratoriossa yhteistyössä yritysten kanssa otettu käyttöön tulevaisuuden ennakoituja suuria tehdaskokoja simuloivia tutkimusympäristöjä.

Myös kehitteillä olevan teollisen puurakentamisen TKI-toiminnan ympäristöt ovat skaalaltaan erilaisia. Esimerkiksi materiaalien lujuus- tai liimaustestejä tai rakennusfysikaalista toimintaa voidaan Xamkissa tutkia pienessä mittakaavassa. Näiden rinnalle Teollisen puurakentamisen laboratorioon tulee suuren mittakaavan lujuus-tutkimuksen ja -testauksen laitteistot puutuotteiden, voimaliitosten sekä erilaisten rakenteiden tutkimukseen. Samoin rakennusfysikaaliseen ja materiaalien ilmas-to- ja olosuhdekeston testaukseen tulee suuren mittakaavan tutkimuslaitteisto.

Metsäbiojalostamon ja kuitutuotteiden koeympäristöt ovat kasvaneet

Xamk Kuitulaboratorion niin sanotun keskisakean massan (MC, Medium Consistency) käsittely- ja prosessitutkimusympäristöt toteutettiin jo laboratorion ensimmäisessä vaiheessa vuosina 2005–2006 sekä pienimmässä teollisessa mittakaavassa että aikakauden kannalta järkeväksi katsotussa suurimmassa mittakaavassa. Vuonna 2022 Xamk Kuitulaboratoriossa toteutettiin merkittävällä yritys- ja alan tulospanoksella MC-tutkimus- ja koeympäristön laajennus. Tuloksena toteutettiin vuositasolla >10 000 admt (ilmakuiva tonni)/d -tuotantoa vastaava tutkimus- ja kehitysympäristö, joka mahdollistaa kaksi kertaa Suomen suurimpien alan tehtaiden vuosituotantoa vastaavien prosessivirtausten tuottamisen erilaisiin laite- ja teknologiatutkimustarpeisiin. Tämän rinnalla on edelleen käytössä pienemmän mittakaavan tutkimusympäristöt, ja laitteistot täydentävätkin hyvin toisiaan.



KUVA 1. Xamk Kuitulaboratorion uusi teollisen mittakaavan MC-tutkimusympäristö sekä sen vieressä oleva paineellinen reaktori, jolla voidaan tutkia uusien sellulaatujen sekä esimerkiksi kierrätystekstiilin kemiallista käsittelyä teollisessa mittakaavassa (kuva Lasse Pulkkinen).

Uuden, 1 200 l/s massavirtauksen tutkimusympäristö on laaja-alaisesti erityisesti metsä- ja prosessiteollisuuden toimijoille merkittävä kehitysympäristö. Vuoden 2022 lopussa ja vuoden 2023 aikana Xamk Kuitulaboratoriossa on koajettu ja tutkittu MC-laitteita, joiden tuottoalue ylittää 1 200 l/s. Selluteollisuuden linjakoot ovat kasvaneet, ja niihin tarvitaan uusia laitteita ja uusia laitekokoja, joten

niiden testaaminen laitteiden todellisella tuottoalueella on välttämätöntä (Peltonen 2023). Koeajojen perusteella voidaan laitteisiin tehdä tarvittavat muutokset ja varmentaa laitteiden hyvä toiminta asiakastehtailla. Laboratorion testeissä saadaan tutkittua tuottoarvot, tehonkulutus ja painehäviö, mutta optimoitua myös prosessitekniisiä parametreja, kuten sekoitustehokkuus.

Tämän mittaluokan koelaitoksia maailmalla on hyvin vähän. Kuitulaboratorion joustavuus ja nopeus muokata koelooppeja erilaisiin koeajotarpeisiin on merkittävämpiä tekijöitä eri yritystoimijoille. Tässäkin projektissa yhteisymmärrys suunnittelusta ja hankinnoista löytyi nopeasti, vaikka aikataulu oli haastava ja muutosten laajuus merkittävä. (Peltonen 2023)

Materiaalien ja rakenteiden testausta suuressa mittakaavassa

Xamkin teollisen puurakentamisen laboratorion laitteistot on hankittu Etelä-Savon maakuntaliiton ja EU:n osarahoittamassa projektissa Puu- ja hybridirakentamisen testauslaboratorio. Lisäksi hanketta rahoittavat Savonlinnan kaupunki, Teknos Oy, Rothoblaas, MetsäWood Oy, Punkaharjun Puutaito Oy, TimberPoint Oy sekä Versowood. Kokonaisbudjetiltaan lähes kolmen miljoonan euron toimintaympäristö-hanke ja siihen kytketty rinnakkainen rakentamishanke ovat yksi suurimmista Etelä-Savossa toteutetuista EU-rahoitteisista hankkeista. Tuloksena syntyy merkittävä erityisesti puurakentamisen ekosysteemin yrityksille suunnattu tutkimus- ja kehitysympäristö, jollaista ei Suomessa ole aiemmin ollut.

Teollisen puurakentamisen tuotteiden, materiaalien, rakenteiden ja liitosten tutkimus- ja kehitystoiminnan kannalta laitteisto tarjoa monipuoliset mahdollisuudet. Jo suunnitteluvaiheessa on huomioitu seuraavien tuotteiden ja materiaalien tutkimus- ja testausmahdollisuudet toteutetulla laitteistolla:

- CLT-rakenteet
- LVL-rakenteet
- Hirsirakenteet
- Liimapuurakenteet (myös ristikkorakenteet)
- MHM-rakenteet (massiv holz mauer)
- Syrjälankkurakenteet
- Naulalevyrakenteet
- Puikkoliitokset (myös puutappi)
- Naulalevyliitokset
- Liimatankoliitokset
- Jännitetyt puurakenteet
- Puu–betoni-komposiittirakenteet

Voimaltaan 500 kN:n puristus- ja 300 kN:n vetotestien osalta mahdollistava laite mahdollistaa suurimmillaan 10 x 2,5 x 4,5 metrin kokoisten rakenteiden, kuten elementtien tai muiden rakenteiden, tutkimuksen. Palkkimaisten tuotteiden osalta laitteisto mahdollistaa enintään 15 metrin pituisten tuotteiden kuormittavan testauksen.



KUVA 2. Xamkin Savonlinnan teollisen puurakentamisen laboratorion kuormitustestauslaitteiston teräsrakenteet asennusvaiheessa (kuva Lasse Pulkkinen).

Täyden mittakaavan kehitysympäristöt syventävät osaamista

Xamkin suuren mittakaavan tutkimusympäristöt niin puukuidun innovatiivisten käsittelyprosessien kuin puurakentamisenkin tarpeisiin on suunniteltu ja toteutettu yhteistyössä alojen kansainvälisten veturiyritysten, innovatiivisten pk-yritysten sekä muiden asiantuntijoiden yhteistyönä. Niiden kanssa työskentely tutkijoiden ja yritysten yhteistyönä tarjoaa kilpailuetua yrityksille ja suomalaiselle teollisuudelle. Lisäksi ne tarjoavat Xamkin tutkijoille ja opiskelijoille mahdollisuuden työskennellä teollisen mittakaavan tutkimusympäristöissä ja -laitteistoilla ja perehtyä todellisiin teollisuuden ongelmiin ja kehitystarpeisiin.

LÄHTEET

Peltonen, K. 2023. Sähköpostikysely Xamk Kuitulaboratorion uudesta suuresta MC-koeympäristöstä.

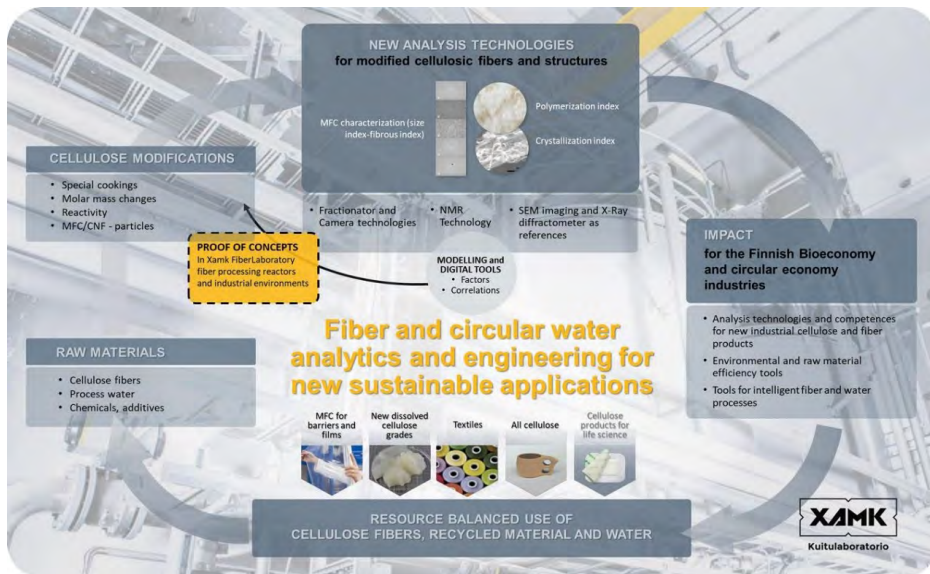
CEBIPRO – UUSIA ANALYYSI- TEKNIIKOITA KIERTOTALOUDEN BIOJALOSTAMOIHIIN

Ella Tirronen & Ekaterina Nikolskaya & Yrjö Hiltunen

Kiertotalous, vihreä siirtymä, uusien kuitutuotteiden kehittäminen ja ympäristötehokkuuden jatkuva parantaminen tarjoavat suomalaiselle metsäteollisuudelle ja alan osaajille tilaisuuden olla edelläkävijänä innovatiivisten ratkaisujen, tuotteiden ja palveluiden viemisessä globaaleille markkinoille. Puusta saatava selluloosa on todellinen kultakaivos, kun perinteisen paperin ja kartongin rinnalle löydetään korke-arvoisia tuotteita, kuten muovia korvaavia filmejä ja pakkauksia esimerkiksi mikro- ja nanoselluloosasta. Uusien prosessi- ja kiertovesitekniikoiden kehittäminen ratkaisisi veden kulutuksen haasteita, jotka ovat edelleen yksi suurimmista ympäristöongelmista selluteollisuudessa, vaikkakin tilanne on parantunut merkittävästi viimeisten vuosikymmenten aikana.

Cebipro-hanke

CEBIPRO (New Analysis Technologies for Circular Economy Biorefinery processes) -hankkeen tavoitteena on kehittää analyysitekniikoita uusien sellulaatujen ja sovellusten karakterisointiin fraktiointi- ja NMR-tekniikoiden avulla. Lisäksi hankkeessa arvioidaan näiden karakterisointitekniikoiden soveltuvuutta suljetun vesikierron kemiallisten ainesosien online-seurantaan ja tuetaan uusien prosessi- ja kiertovesitekniikoiden kehittämistä biojalostamoissa yhteistyössä teollisuuden asiantuntijoiden ja yhteistyökumppaneiden kanssa (kuva 1). Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulusta hanketta toteuttaa Savonlinnan tutkimusyksikkö Kuitulaboratorio, ja teollisuudesta mukana ovat Valmet Automation Oy, Stora Enso Oyj, WetEnd Technologies Oy, Fiber-X Finland Oy, UPM-Kymmene Oyj sekä Aquaflo Oy. Hankkeen kesto on 1.1.2023–30.4.2025. CEBIPRO-hanke on saanut rahoitusta Euroopan unionin NextGeneration EU Suomen kestävän kasvun ohjelmasta, ja rahoituksen on myöntänyt Business Finland.



KUVA 1. CEBIPRO-hankkeessa kehitetään kuitu- ja vesianalyysitekniikoita uusien sellulaatujen ja sovellusten karakterisointiin (kuva Xamk).

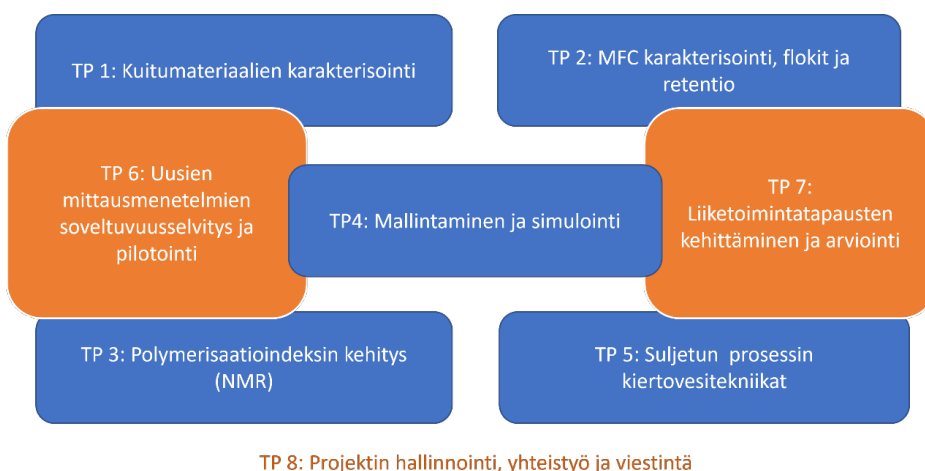
Innovatiivisia ratkaisuja kuitu- ja vesianalytiikkaan

Uusien sellulaatujen, kuten mikrofibrilloidun selluloosan (MFC), tuotanto tulee kasvamaan tulevaisuudessa. Tuotannon siirtyminen teolliseen mittakaavaan edellyttää vakaita seurantajärjestelmiä laadunvalvontaan, kuituverkon ominaisuuksien ennustamiseen ja uusien tuotteiden kehittämiseen. MFC:n karakterisointiin voidaan käyttää kuidun morfologiaa tarkasti kuvaavia menetelmiä, kuten mikroskopiaa. Mikroskopian haasteena on kuitenkin tunnistaa samanaikaisesti suuren kuvasuhteen omaavien partikkeleiden pituutta ja leveyttä. (Larsson ym. 2019.) Heterogeeninen materiaali asettaa myös haasteita esimerkiksi kuidun fibrillatioasteen määrittämiseen, jota kuvataan yleensä epäsuorien analyysimenetelmien, kuten reologian tutkimisen, kautta (Raynad 2017).

Jäteveden hallintaan suhtautuminen on muuttunut viimeisten vuosikymmenten aikana. Jätevettä ei pidetä enää hävitettävänä aineena, vaan arvokkaana uusiutuvana energian, luonnonvarojen ja juomaveden lähteenä. (Tchobanoglous ym. 2014.) Perinteisissä sellutehtaissa tuoreveden kulutus on suurta, ja tähän ongelmaan haetaan ratkaisuja muun muassa suljetuilla vesikiertoilla. Kiertovesi sisältää useita haitallisia epäorgaanisia aineita, kuten kloridia ja kaliumia, sekä orgaanisia kiintoaineita, kuten uuteaineita ja kuituja. Epäorgaaniset aineet voivat aiheuttaa esimerkiksi korroosiota ja orgaaniset aineet saostumia. Prosessivesiä analysoidaan manuaalisesti laboratoriossa, mutta aikaa ja työvoimaa vaativien menetelmien

vuoksi laadun tarkkailua ei voida tehdä tarpeeksi usein. Tämän takia prosessi- ja kiertovesitekniikoita tulee kehittää ja uusille online-mittauksille on tarve.

CEBIPRO-hankkeessa käytetyt pääasialliset tutkimusalustat ovat NMR-mittausteknologia ja Valmet fraktionattorin UHD-kamerateknologia. Näiden avulla pyritään syventämään ymmärrystä kuitujen morfologiasta ja vaikuttavista ominaisuuksista kuituverkon muodostumiseen kokeellisten menetelmien ja mallinnuksen avulla, parantamaan uusien sellulaatujen karakterisointia, kehittämään biojalostamoiden prosessi- ja kiertovesien orgaanisten ja epäorgaanisten aineiden jäljentämistä ja demonstroimaan kehitettyjä menetelmiä pilot-mittakaavassa. Hankkeen työpaketit on esitelty kuvassa 2.



KUVA 2. Työpaketit hankkeessa CEBIPRO (kuva Ella Tirronen).

Työpaketissa 1 karakterisoidaan erilaista kuitu- ja hienoainesta ja pyritään profiloimaan tekijöitä, jotka vaikuttavat kuituihin ja kuituverkon muodostumiseen sekä lopputuotteen ominaisuuksiin. Työpaketissa 2 kehitetään MFC:n karakterisointiin soveltuvia menetelmiä ja pyritään parantamaan paperi- ja kartonkikoneiden märkäosan kemikaalijärjestelmien tutkimusta. Työpaketissa 3 kehitetään NMR-tekniikkaan perustuvan polymerointi-indeksin (DP) laboratorio- ja online-mittausmenetelmää. Työpaketissa 4 mallinnetaan kuidun profiloinnin seurauksena selvitettyjen tekijöiden vaikutusta lopputuotteiden laatuun. Työpaketissa 5 kehitetään biojalostamoiden prosessi- ja kiertovesien analytiikkaa. Työpaketissa 6 vahvistetaan kehitettyjen menetelmien soveltuvuutta pilot- ja tehdasmittakaavaan. Työpaketissa 7 arvioidaan uusien teknologioiden liiketoimintapotentiaalia ja lopputuotteen saatavaa etua teknisiin tuloksiin pohjautuen. Hankkeen vuorovaikutteisen viestinnän avulla edistetään yhteistyötä alan asiantuntijoiden ja teollisten partnereiden kanssa.

Uutta tietoa, osaamista ja yhteistyötä

Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulun CEBIPRO-hanke on osa Valmet Beyond Circularity VETURI -ohjelmaa. Ohjelman tavoitteena on kehittää prosessiteknologioita, automaatiota ja palveluita hyödyntämällä uusiutuvia ja kierrätettyjä materiaaleja, teollisuuden sivuvirtoja ja jätettä yhteistyössä tutkimuslaitosten, korkeakoulujen, suurten teollisuusyritysten ja start-up-yritysten kanssa. (Valmet s.a.) Kuitulaboratorion vahvuksina on syvä NMR-tekniikan osaaminen sekä vahva kuituosaaminen, jota pystytään tehostamaan UHD-kameratekniikkaan perustuvan kuituanalysilaitteen avulla. Lisäksi tutkimusyksikössä on pilotointimahdollisuus, joka mahdollistaa kehitettyjen analyysimenetelmien testaamisen lähellä teollista mittakaavaa.

CEBIPRO-hankkeessa syvennetään myös kansainvälistä yhteistyötä. Hankkeesta toteutetun kansainvälisen osuuden seurauksena ELTE-yliopiston akateeminen professori Levente Csóka ja Celltech-paper-yhtiön kemistitutkija Worakan Csóka vierailivat Kuitulaboratoriossa kansainvälisinä asiantuntijoina kesällä 2023. Yhteistyön tuloksena saatiin lisää ymmärrystä mikrofibrilloidun selluloosan (MFC) ainutlaatuisesta profiilista. Hankkeessa koko- ja osa-aikaisesti työskennelleet henkilöt on esitetty kuvassa 3. Kuvassa vasemmalta Levente Csóka, Worakan Csóka, Ekaterina Nikolskaya, Ella Tirronen, Sanni Härkönen, Yrjö Hiltunen, Jere Järvenpää ja Elmeri Pöllänen.



KUVA 3. CEBIPRO-hankkeeseen osallistuneet henkilöt FiberTech 2023 metsäteollisuuspäivillä (kuva Lasse Pulkkinen).

Tulokset

Hankkeen työpakettien ajoitus on porrastettu. Ensimmäisen toteutusvuoden aikana keskitytään työpaketteihin 1–3, joissa pyritään luomaan kuidun ja kuitutuotteiden profilointiin soveltuvia analyysimenetelmiä, sekä työpakettiin 5, jonka tavoitteena on kehittää vesianalytiikkaa. Seuraavalla puoliskolla aloitetaan loput työpaketit, jolloin esimerkiksi testataan kehitettyjen menetelmien soveltuvuutta pilot-mittakaavaan.

Kuidun profiloinnissa on tutkittu laajasti erilaisia kuitunäytteitä ja niiden fraktioita ennen ja jälkeen jauhatuksen pääasiassa fraktionaattoria ja NMR-tekniikkaa käyttäen. Fraktionaattorin mittausdatan perusteella kuidun ominaisuuksia ja hienoaineksen määrää on verrattu perinteisten laboratorioanalyyysien tuloksiin. Fraktionaattorin optisen mittausdatan käsittelyä on sovellettu MFC:n karakterisointiin. Mittausdatasta saatavista indekseistä sekä fraktionaattorin UHD-kuvista havaittiin merkittäviä eroja eri MFC-laatuojen välillä.

NMR-menetelmän hyödyntämisessä on keskitytty alkuvaiheessa kiteisyyden määrittämiseen erilaisista sellunäytteistä. Menetelmässä uunikuivatuista näytteistä mitataan sekä kiteisen että amorfisen selluloosan osuudet ja näin voidaan laskea niin sanottu kiteisyysindeksi. Menetelmää on sovellettu hyvin erilaisille sellulaaduille, kuten MFC:lle, MCC:lle sekä havu- ja koivuselluille. Myös selluloosamolekyylien polymerisaatioindeksin määrittäminen on aloitettu, ja jatkossa painopiste tulee olemaan tämän indeksin määrittämisen tutkimuksessa. Lisäksi NMR-spektroskopian soveltuvuutta on testattu teollisuuden prosessi- ja jätevesien orgaanisten aineiden määrittämiseen.

Jatkosuunnitelmat

CEBIPRO-hankkeessa jatketaan monimutkaisten kuitumateriaalien, erityisesti uusien sellulaatuojen tutkimista partikkelitasolla ja selvitetään kuituverkon muodostumiseen, sitoutumiseen ja lujuusilmiöihin vaikuttavat tekijät. Tätä varten on tarpeellista tutkia kemikaalien sekä kuitu- ja hienoaineksen vuorovaikutusta keskenään. Lisäksi on ensiarvoisen tärkeää tutkia sellu- ja kartonkitehtaiden prosessivesijärjestelmien laatua ja tunnistaa erilaiset kemialliset ainesosat prosessien eri vaiheissa, jotta suljettuja vesikiertoja voidaan hallita tehokkaammin.

LÄHTEET

Larsson, Per, Riazanova, Anastasia, Cinar, Goksu, Rojas, Ramiro, Øvrebø, Hans, Wågberg, Lars & Berglund, Lars. 2019. Towards optimised size distribution in commercial microfibrillated cellulose: a fractionation approach. *Cellulose*. 26.

Raynaud, S. 2017. Development of new barrier materials using microfibrillated cellulose. Material chemistry. Université Grenoble Alpes.

Tchobanoglous, G., Stensel, H.D., Tsuchihashi, R., Burton, F., Abu-Orf, M., Bowden, G. & Pfrang, W. 2014. Wastewater engineering. Treatment and resource recovery. Wastewater management: Future challenges and opportunities. Fifth edition.

Valmet s.a. Beyond Circularity. Saatavissa: <https://www.valmet.com/about-us/beyond-circularity/> [viitattu 30.8.2022].

SELLUTEHTAAN VEDENKÄYTÖN VÄHENTÄMINEN

Juhani Turunen

Kirstyvien ympäristövaatimusten takia sellutehtaat joutuvat lähitulevaisuudessa keskittymään vedenkäytön vähentämiseen johtaviin ratkaisuihin. Vedenkäytön vähentäminen edellyttää kuitenkin suuria laiteinvestointeja ja tuo mukanaan riskin lopputuotteen laadun alentumisesta ja vaikeista prosessiongelmista. Xamk Kuitulaboratoriossa toteutettava Cebipro-tutkimushanke pyrkii osaltaan edistämään vedenkäytön vähentämistä uuden vesianalytiikan käyttöönotolla ja tarvittavien prosessiratkaisujen laboratoriomittaisella tutkimisella.

Cebipro-hanke ja sellutehtaan vesitalous

Sellutehtaiden on tulevaisuudessa kyettävä merkittävästi vähentämään tuoreveden käyttöä. Yksittäinen suuri sellutehdas voi tarvita prosesseissaan esimerkiksi 100 000 m³ makeaa vettä vuorokaudessa. Prosessivettä joudutaan yleensä puhdistamaan raakavesilaitoksessa ennen käyttöä tuotantoprosesseissa ja lopulta puhdistamaan uudelleen jätevedenkäsittelylaitoksessa ennen vesistöön johtamista. Vaikka Suomessa ei olekaan pulaa makeasta vedestä, muualla maailmassa tilanne voi olla toinen. Esimerkiksi Etelä-Amerikassa kuivuus on toisinaan vähentänyt käytettävissä olevan makean veden määrää oleellisesti, ja sellutehtaita on jopa syytetty ihmisille elintärkeän raaka-aineen varastamisesta. Vedenkäytön vähentämistä puoltaisi myös raaka- ja jäteveden käsittelyyn tarvittavan energian ja kemikaalien käytön väheneminen ja sitä myötä kustannusten pienentyminen.

Vedenkäytön vähentämistä tehtailla on yleensä estänyt erilaiset ongelmat tuotantoprosessissa, kuten heikentynyt lopputuotteen laatu, saostumat prosessilaitteiden pintaan, laitevauriot sekä kiihtynyt yleinen korroosiotaso (Reeve & Silva 2000).

Xamk Kuitulaboratoriossa tutkitaan vuosina 2023–2025 osana Business Finlandin ja yhteistyöyritysten (Valmet Oyj, UPM Oyj, Stora Enso Oyj, Aquaflow Oy, Wetend Oy ja Fiber-X Finland Oy) rahoittamaa Cebipro-hanketta sellutehtaan vedenkäytön vähentämiseen läheisesti liittyviä tekniikoita. Erityisen mielenkiinnon kohteina ovat uusien analyysimenetelmien kehittäminen (NMR-tekniikka) sekä

valkaisuodosten ja puhdistamovesien erilliskäsittelyjen (esimerkiksi hapetus, saostus, aktiivihiiplikäsittely ja kalvosuodatus) vaikutus vesijakeiden orgaaniseen ja epäorgaaniseen koostumukseen.

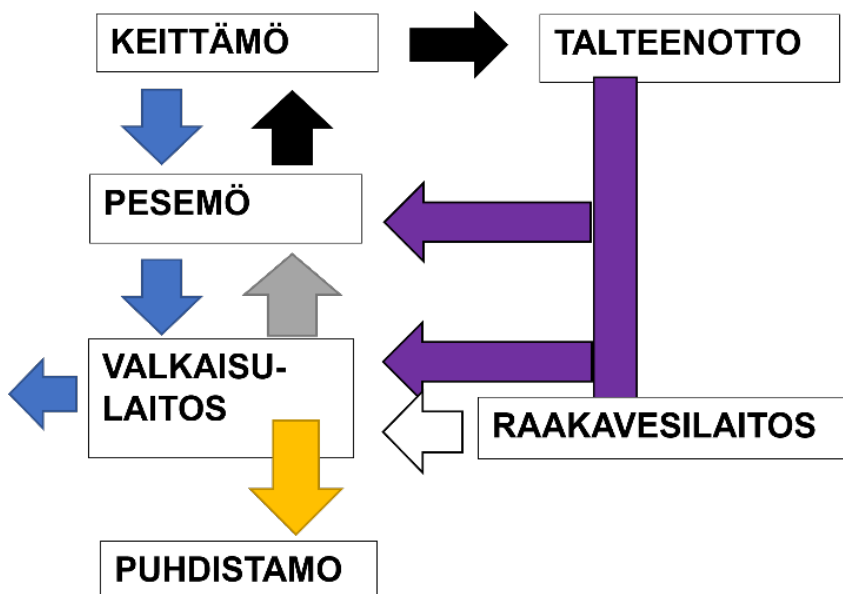
Vedenkäyttö sellutehtaalla nykyään

Tyypillinen nykyaikainen sellutehdas käyttää esimerkiksi 40 m³ vettä sellutonna kohden, josta noin 30 m³/ts valkaisuoprosessissa (Dahl 2008). Valkaisuoprosessin jätevesiä kertyy tyypillisesti pääosin ensimmäisestä happamasta vaiheesta (D₀) ja ensimmäisestä alkalivaiheesta (E₁). Molemmat suodokset johdetaan tavallisesti suoraan ulkoiseen jätevedenpuhdistukseen. Perinteisesti valkaisuodosten kierrättämistä tehtaalla on estänyt pelko kiihtyvistä korroosiosta (kloridit) ja saostumisista suodosten suuren epäorgaanisen aineksen määrän takia.

Alkalisuodoksen kierrätys

Alkalisessa suodoksessa on klorideja hapanta suodosta vähemmän ja pH-tasokin prosessin kannalta oikea. Eräissä tehdaskonsepteissa ainakin osaa E₁-suodoksesta on jo käytetty ruskean massan pesemöllä, josta neste siirtyy edelleen mustalipeän muodossa tehtaalla kemikaalikiertoon (Anon. A 2014). Syntyvää lauhdetta palautetaan talteenotto-osastolta ruskean massan pesemölle ja valkaisuolle uudestaan pesuvedeksi (periaate esitetty kuvassa 1). Klorideja ja kaliumia on kuitenkin tämän tyyppisessä konseptissa korroosioriskin takia säännöllisesti poistettava soodakattilan lentotuhkasta erillisen prosessin avulla (Anon. B 2023). Alkalisuodoksen johtaminen kemikaalikiertoon luonnollisesti pienentää ulkoiseen puhdistukseen joutuvaa orgaanisen aineksen määrää ja saattaa siten parantaa biologisen käsittelyn jälkeen saavutettavaa puhdistustulosta.

Vaikka alkalisuodosta onkin mahdollista edellä mainitulla tavalla kierrättää, saattaa tästä kuitenkin seurata ongelmia prosessissa. Ruskean massan pesussa joudutaan käyttämään tällöin aiempaa likaisempaa pesuvettä, jolloin pesutulos voi kärsiä ja valkaisuolle tuleva pesuhäviö kasvaa. Tämä tavallisesti johtaa myös tarvittavien valkaisuokemikaalien käytön kasvuun. Kierrätysveden käytön lisääminen valkaisuolla voi sivuseurauksena lisätä orgaanisen ja erityisesti epäorgaanisen aineksen määrää valkaisuoprosessissa ja johtaa ikäviin saostuma- ja laatuongelmiin. Haitallisiksi saostumien kannalta on käytännössä havaittu ainakin kalsium, barium, karbonaatti, sulfaatti ja oksalaatti (Ulmgren 1997). Syntyviä ongelmia voi olla erittäin hankala poistaa kokonaan. Vesikierron avaaminen eli alkalisuodoksen osittainen johtaminen puhdistamolle saattaa helpottaa tilannetta.



KUVA 1. Periaatekuva valkaisu ensimmäisen alkalisuodoksen kierrätyksestä. Sininen nuoli = sellu, keltainen nuoli = hapan D_0 -suodos, harmaa nuoli = alkalinen E_1 -suodos, musta nuoli = laihamustalipeä, violetti nuoli = lauhde, valkoinen nuoli = kemiallisesti puhdistettu tuorevesi (kuva Juhani Turunen).

Alkalisen ja happaman suodoksen kierrätys

Jo 1970-luvun lopulla kokeiltiin Kanadassa vesikierroltaan suljettua sellutehdas-konseptia, jossa myös happamat suodokset johdettiin tehtaan kemikaalikiertoon. Kokeilu jäi kuitenkin lyhytikäiseksi, koska talteenottolaitos ei kestänyt suurta epä-organista kuormaa. Tällöin valkaisuissa kuitenkin käytettiin vielä kaasuklooria, jolloin kloridien määrä suodoksissa oli nykyistä huomattavasti korkeampi. Myöskään modernit lentotuhkan kloridin- ja kaliuminpoistoprosessit eivät olleet käytettävissä. (Reeve & Silva 2000)

Seuraava suuri askel vedenkäytön vähentämiseen täysin uusien sellutehdaskonseptien kohdalla voisi olla sekä happaman että alkalisen suodoksen johtaminen kemikaalikiertoon. Kokonaisvedenkäyttöä voitaisiin vähentää parhaimmillaan jopa yli 50 prosenttia verrattuna sellaiseen moderniin sellutehtaaseen, jossa valkaisu-suodoksia ei kierrätetä. Tällaisia tehdaskonsepteja ei ole kuitenkaan julkisuudessa esitetty. Toteutus saattaisi tulla erittäin kalliiksi muun muassa parempien materiaalien ja täysin uusien prosessien tarpeen myötä. Toisaalta riski valkaistun sellun laadun heikkenemiseen (vaaleus ja puhtaus), tukkeutumisiin, laitteistovaurioihin ja korkeaan korroosiotasoon olisi erittäin suuri.

Happaman suodoksen kierrätys vaatinee ilmeisesti haitallisen epäorgaanisen aineksen poistamiseksi suodoksista niin sanottuja munuaisprosesseja. Esimerkiksi ultrasuodatuksen käytöllä on saavutettavissa hyvät reduktiot epäorgaanisten aineiden konsentraatioiden suhteen. Nanosuodatuksella voidaan saavuttaa vielä oleellisesti parempi puhdistustulos, mutta korkeat investointi- ja käyttökustannukset ovat haittana. (Häyrynen ym. 2021, Pursiainen ym. 2022)

Ulkoisesti puhdistetun jäteveden uudelleenkäyttö

Toinen ehkä vanhoille sellutehtaille paremmin soveltuva lähestymistapa vedenkäytön vähentämiseen on puhdistettujen jätevesien uudelleenkäyttö. Standardiratkaisuna sellutehtaan jätevesien käsittelyyn nykyaikana on mekaaninen selkeytys (primäärivaihe), biologinen puhdistus (sekundäärivaihe) ja lopuksi vielä useimmiten kemiallinen saostus (tertiäärivaihe). Edellä mainitulla konseptilla voidaan tuottaa laadultaan kohtuullisen hyvää vettä. Orgaanisen aineksen pitoisuus voi olla tasolla jopa alle 100 mgCOD/l, minkä puolesta veden uudelleenkäyttö jossakin prosessissa sellutehtaalla saattaisi hyvinkin olla mahdollista. Ongelmana kuitenkin on, ettei nykyinen jätevedenpuhdistusprosessi kykene poistamaan vedestä epäorgaanista ainesta, vaan saattaa jopa lisätä sitä. Tällöin veden uudelleenkäyttö jossakin tehdasprosessissa johtaisi ajan mittaan epäorgaanisen aineksen rikastumiseen ja sitä myötä korroosiotason ja saostumien määrän kasvuun.

Huolimatta hyvästä lähtölaatuotasosta puhdistettu jätevesi ilmeisesti vaatisi jotakin lisäpuhdistusta epäorgaanisen aineksen poistamiseksi. Kyseeseen saattaisi tulla esimerkiksi ultra- tai nanosuodatus, joiden avulla vesien kationi- ja anionipitoisuuksia voidaan oleellisesti pienentää (Häyrynen ym. 2021, Pursiainen ym. 2022). Kalvosuodatettu jätevesi saattaisikin soveltua korvaamaan tuorevedenkäyttöä tehtaalla ainakin joillakin osastoilla. Ongelmaksi saattaa muodostua korroosiota kiihdyttävät kloridit, joita edes nanosuodatus ei pysty riittävästi poistamaan.

Ulkoisesti puhdistetun jäteveden uudelleenkäyttöä tehtailla edes pienessä mitakaavassa ei ole merkittävästi toteutettu, eikä tutkimusdataa ole saatavilla. Laboratoriomittakaavassa aihetta on käytännössä mahdotonta selvittää. Tehtaan vesitaseen avulla voidaan hyvin ennustaa eri osaprosesseihin syntyviä epäorgaanisen aineksen konsentraatioita, mutta ei aina luotettavasti tehtaalla syntyviä ongelmia. Kehittyäkseen eteenpäin jäteveden uudelleenkäyttö vaatisi pitkäaikaisia tehdaskoeajoja, jolloin siitä saataisiin relevanttia tutkimusdataa (vaikutukset eri tehdasosastoilla ja lopputuotteessa).

Johtopäätökset

Sellutehtaan vedenkäytön oleellinen vähentäminen edellyttää joko valkaisuusuo-
dosten johtamista tehtaan kemikaalikiertoon tai ulkoisesti puhdistetun jäteveden
uudelleenkäyttöä joillakin tehdasosastoilla. Molemmissa tapauksissa tarvitaan uu-
sia investointeja, kuten kalvosuodatuslaitosta, haitallisen epäorgaanisen aineksen
poistamiseksi vesikiirroista. Nykyistä nopeampaa uutta vesianalytiikkaa vesija-
keiden koostumuksen selvittämiseksi tarvitaan tutkimuksen ja tulevaisuudessa
tehtaan käytöntarkkailun apuna. Xamk Kuitulaboratorio tekee jatkuvasti yritysyh-
teistyötä tehtaiden kiertovesihaasteiden ja -mahdollisuuksien parissa. Puhtaan
veden ratkaisut ovat tärkeitä myös Etelä-Savon ja laajemminkin alan teollisuuden
näkökulmasta tehtaiden ympäristötehokkuuden ja alan teknologia- ja palvelutoi-
mittajien kansainvälisen liiketoiminnan näkökulmista.

LÄHTEET

Anon, A. 2014. Äänekosken biotuotetehtaan ympäristövaikutusten arviointiohjelma. Metsä Fibre Oy 2014. Saatavissa www.eib.org/attachments/registers/58445783.pdf [viitattu 31.8.2023].

Anon, B. 2023. Andritz chloride and potassium removal systems. Andritz Oy 2023. Saatavissa www.andritz.com/products-en/group/pulp-and-paper/pulp-production/kraft-pulp/arc-ale [viitattu 31.8.2023].

Dahl, O. 2008. Process modifications to reduce effluent loads. Environmental management and control. Papermaking science and technology n:o 19. 2nd edition. Toim. O. Dahl. Julk. Paperi ja Puu Oy. Helsinki 2008. S. 69–82.

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

Pursiainen, M., Hyvönen, S. & Turunen, J. 2022. Sellutehtaan happamien valkaisuodosten puhdistaminen ultrasuodatuksella. Metsä, ympäristö ja energia, vuosijulkaisu 2022. Toim. H. Soinen, N. Haatanen & L. Pulkkinen. Xamk kehittää 208. Mikkeli 2022. S. 155–160.

Reeve, D. & Silva, C.M. 2000. Closed cycle systems for manufacture of bleached chemical wood pulp. Chemical pulping. Papermaking science and technology n:o 6B. Toim. J. Gullichsen & C.-J. Fogelholm. Julk. Fapet Oy. Helsinki 2000. S. B441–B473.

Ulmgren, P. 1997. Non-process elements in a bleached kraft pulp mill with a high degree of system closure - state of art. Nordic pulp and paper research journal 12(1), s. 32–41.

SELLUTEHTAAN RUSKEAN MASSAN PESU JA ON-LINE TDS -MITTAUSJÄRJESTELY

Riku Kopra

Sellutehtaan kuitulinjalla tapahtuvalla ruskean massan pesulla vaikutetaan koko tehtaan toimintaan ja kannattavuuteen. Jos pesu ei toimi, valkaisu- ja haihdutuskustannukset voivat nousta sekä happivaiheen toiminta voi heikentyä, massan laatu kärsiä ja jätevesiin päätyä paljon ainesta. Pesuun käytetään erilaisia pesulaitteita. Kullakin on oma ainutlaatuinen mekaaninen rakenne ja toimintaperiaate. Optimoimalla pesulaitteen eri toimintojen suorituskyky voidaan saavuttaa korkea pesutehokkuus massan pesulle. Ajavina voimina kuitulinjan tehokkuuden parantamisessa ja erityisesti ruskean massan pesun optimoinnissa ovat taloudelliset seikat ja ympäristöasiat. Tässä artikkelissa esitellään, miksi ja miten massaa pestään, mihin sillä on vaikutuksia ja miten pesun toimintaa voidaan seurata rakentamalla on-line-mittausjärjestelmä. Kohteena on erään skandinaavisen sellutehtaan painesuodinpesurit.

Ruskean massan pesun optimointi

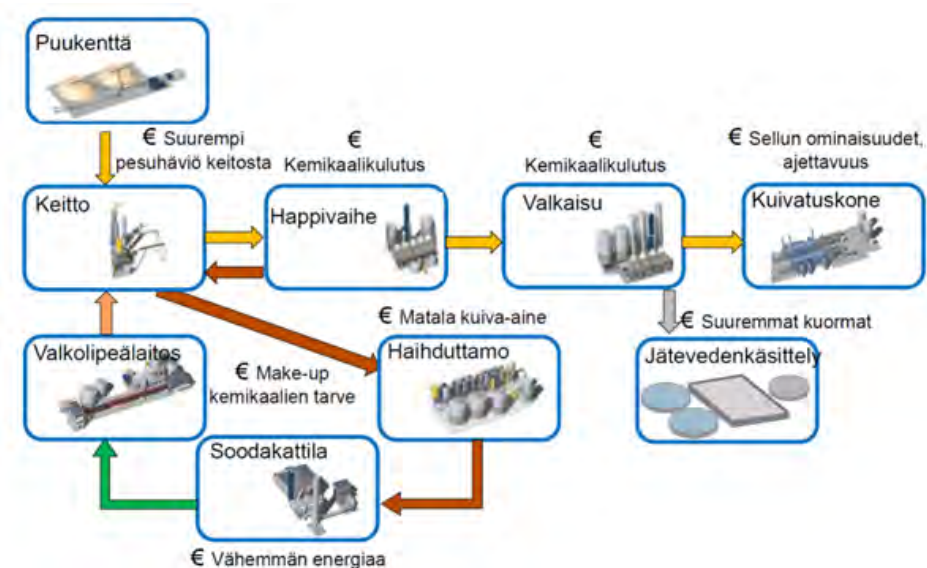
Koetehtaan ruskean massan pesemön keittimen ja happivaiheen jälkeisille pesureille tehtiin asennussuunnitelmat ja toteutettiin asennukset yhteistyössä tehtaan sekä mittalaite- ja pesulaitetoimittajan kanssa. Nyt toteutuksen valmistuessa suunnitellaan mittauksen kalibrointia, tehdasseurantaa ja koeajoja. 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 joissa on vaihtelevaa tuotantoa tai massan suotautuvuusolosuhteet muuttuvat.

Tutkimustyö toteutettiin 1.10.2022 alkaneessa ja 31.12.2024 päättyvässä UMa-Mi – Uudet mallinnus-, mittaus- ja prosessikonseptit biotuotetehtaan tuotanto-, raaka-aine-, energia- ja ympäristötehokkuuden parantamiseksi -hankkeessa. Hankkeen päärahoittaja on Etelä-Savon maakuntaliitto ja Uudistuva ja osaava Suomi 2021–2027 EU:n alue- ja rakennepolitiikan ohjelman kautta. Hankkeen

muut kumppanit olivat Andritz Oy, Vaisala Oy, Stora-Enso Oyj, Solenis Finland Oy, Nalco Finland Oy, Bim Oy, Kemira Oyj, Aquaflo Oy, Toihan Oy ja Optoseven Oy. Kuitulaboratorio on tehnyt pitkäjänteistä yhteistyötä sellutehtaan pesulaitteita valmistavan Andritz Oy:n sekä liuennon kuiva-aineen mittaamiseen soveltuvia refraktometreja kehittävän Vaisala Oy:n kanssa.

Massan pesun taustaa

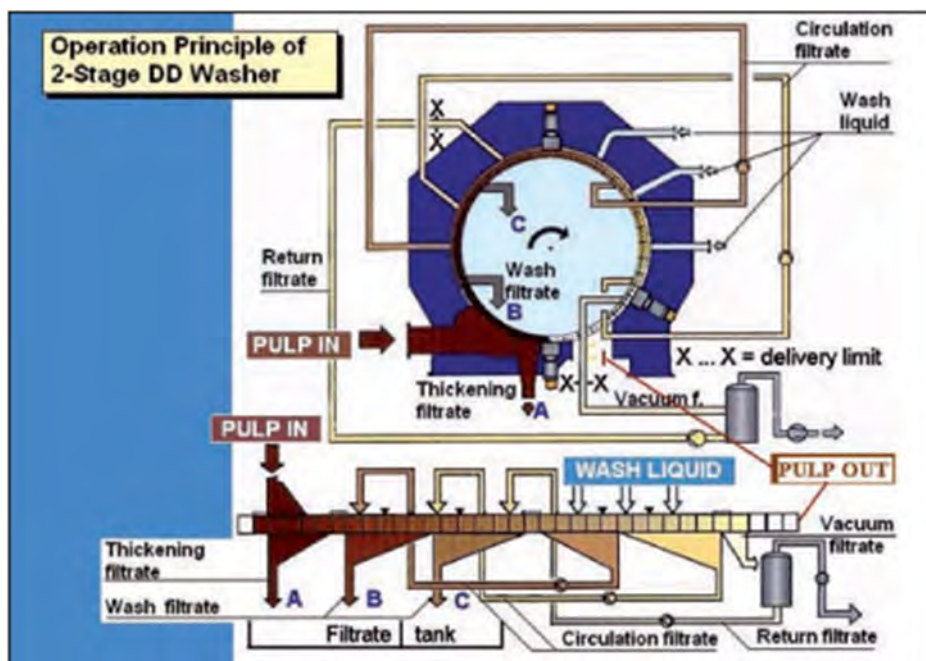
Sellunvalmistuksessa keiton tehtävänä on kemikaalien ja lämmön avulla poistaa kuituja sitovaa ligniiniä siinä määrin, että hakepalat kuituuntuvat helposti. Selluloosakuidut pyritään pitämään mahdollisimman pitkinä, ehjinä ja vahvoina ja lisäksi pyritään poistamaan puun uuteaineita, jotka voivat aiheuttaa vaahtoamista ja saostumia myöhemmin prosessissa. Keittokemikaaleina (NaOH ja Na₂S) käytetään kemikaaleja, jotka liuottavat mahdollisimman paljon ligniiniä ja mahdollisimman vähän selluloosaa. Keiton jälkeen voimakkaan tummanruskeaa massasulppua pestään monessa vaiheessa, jotta epäorgaaniset keittokemikaalit ja puusta liuennut orgaaninen aines saadaan talteen sekä massa riittävän puhtaaksi seuraaviin prosessivaiheisiin. Jäteliuoksen talteenotto mahdollistaa siinä olevien arvokkaiden kemikaalien uudelleenkäytön ja liuennon puuaineksen käytön polttoaineena tai uusina biotuotteina. Jäteliuoksen laimennusta on vältettävä pesun aikana jatkokäsittelyn (haihdutuksen) taloudellisuuden parantamiseksi. Jäteliuos johdetaan haihduttamolle ja sitten poltettavaksi soodakattilaan, jossa sen epäorgaaniset ainekset (keittokemikaalit) regeneroidaan uudelleen käytettävään muotoon ja orgaanisten aineiden (puusta liuennet aineet) lämpöenergia otetaan talteen. Energian tuotannon ja kemikaalien uudelleenkäytön lisäksi massa halutaan puhdistaa jatkokäsittelyä varten, jotta voidaan pienentää valkaisukemikaalien kulutusta, vähentää valkaisun jätevesiin menevän aineksen määrää, helpottaa massan käsittelyä (pyritään estämään esimerkiksi kuohaongelmat) ja estää massan lujisuuden liiallinen heikkeneminen happidelignifioinnissa. Pesulla on siis vaikutusta lähes koko linjan toimintaan ja sen kokonaistalouteen. Kuvassa 1 on esitetty huonosta pesusta johtuvia kustannuksia sellutehtaalla (Karjalainen ym. 2017).



KUVA 1. Hakkeen, keiton ja pesun vaikutukset kuitulinjan eri osaprosessien talouteen (kuva Karjalainen ym. 2017).

Massan pesu tapahtuu vastavirtapesun periaatteella ja pesutuloksen parantamiseksi useammassa vaiheessa. Vastavirtapesussa puhtain pesuneste tuodaan viimeiseen pesuvaiheeseen. Tällöin veden määrää voidaan vähentää ja pitoisuuserotkaan pH:n suhteen eivät käy liian suuriksi, kun joka vaiheessa ei käytetä puhdasta vettä. Pesu tapahtuu laimennus/sakeutus-periaatteella, syrjäyttämällä, puristamalla tai diffuusion avulla esimerkiksi säiliöissä (Hart ym. 2017). Kyseessä olevissa painesuotimissa käytetään syrjäytyspesua, jossa massakakun sisältämä likainen suodos pyritään korvaamaan syrjäyttämällä se puhtaammalla pesunesteellä.

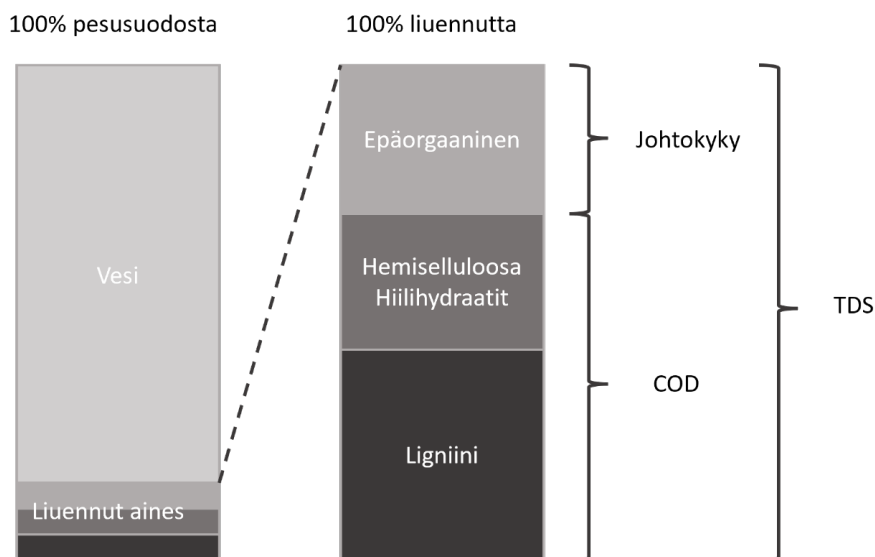
Mittausjärjestely rakennettiin painesuodinpesurien ympärille. Kyseessä olevassa pesurissa massa pestään syrjäytysperiaatteella. Pesurin sydän on pyörivä rumpu, joka on jaettu pituussuunnassa oleviin lokeroihin jakolistoilla. Jokaisen lokeron pohja on valmistettu rei'itetystä levyateriaalista. Levyjen alla on suodososastot, 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). Pesurissa voi olla 1–4 vaihetta. Uusimmissa malleissa pesuvaiheiden lukumäärää voidaan muuttaa käytön aikana, kun massan vedenpoisto-ominaisuudet muuttuvat esimerkiksi puulajin vaihtuessa tai kuitulinjan häiriön vuoksi. Tyypillisesti pesuneste jaetaan tasaisesti rummun taka- ja etupuolelle. Kuva 2 esittää kaksivaiheisen pesurin periaatetta.



KUVA 2. Kaaviokuva painesuodinpesurista pesuvaiheiden havainnollistamiseksi (kuva Tervola ym. 2011).

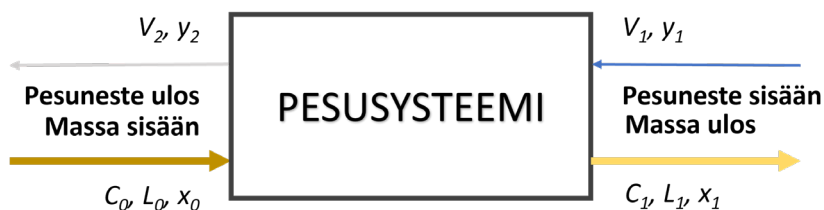
Massasulpun nesteosa sekä pesunesteet koostuvat vedestä sekä siihen liuenneista aineista (kuva 3). Prosessikohdan mukaan puhutaan esimerkiksi pesulipeästä ja laihalipeästä. Nesteosassa pestävissä olevaa ainesta, toisin sanoen jäljellä olevaa likaa, kutsutaan pesuhäviöksi. Tavoitteena on saada massa ruskean massan pesussa riittävän puhtaaksi ja keittokemikaalit ja liuennut orgaaninen aines mahdollisimman väkevänä vastavirtaan kohti haihduttamaa. Aiemmin pesuhäviötä seurattiin lähinnä natriumhäviön avulla, jolla peilattiin keittokemikaalien menetystä eli niin sanottua korvaustarvetta. Koska johtokyky mittaus seuraa kohtalaisen hyvin epäorgaanista ainesta, oli ja on johtokyky yleisin pitoisuusmittaus edelleen pesussa. Happivaiheen yleistyttyä ja tietämyksen kasvettua valkaisuun ja jätevesienkäsittelyyn vaikuttavista komponenteista 1990-luvulla alettiin pesuhäviön mittana käyttää kemiallista hapenkulutusta COD:ta. COD on kuitenkin epäsuora mittaus, joka vaatii laboratorio-olosuhteita yli kahden tunnin ajan. Viime aikoina (Kopra 2015) onkin todettu, että mittauksen pitää olla jatkuvatoiminen, mitata kaikkea pestävissä olevaa liuennutta ainesta nesteestä (sekä orgaanista että epäorgaanista) ja toimia sekä suodoksissa että massasulpuissa. Kuten kuva 3 havainnollistaa, liuenneen aineen kokonaismäärän (TDS) mittaus prosessirefraktometrillä vastaa hyvin tähän vaatimukseen.

Liunneen kiintoaineen mittaaminen pesusuodoksesta



KUVA 3. Pesulipeän liunneen aineen mittaukset havainnollistettuna (kuva Riku Kopra).

Jos pesurin ympäriltä pystytään mittaamaan reaaliajassa neljästä sinne tulevasta pesuneste- ja massavirrasta vähintään kolmea sekä sakeus että pesunestemäärät, voidaan niistä tehdä erilaisia tehokkuuslaskelmia. Kuvassa 4 on havainnollistettu pesurille tulevia ja sieltä poistuvia virtoja.



KUVA 4. Pesujärjestelmän kaavamainen vuokaavio, jossa C = sakeus, L ja V = nesteosuus ja x ja y = pitoisuus (kuva Riku Kopra).

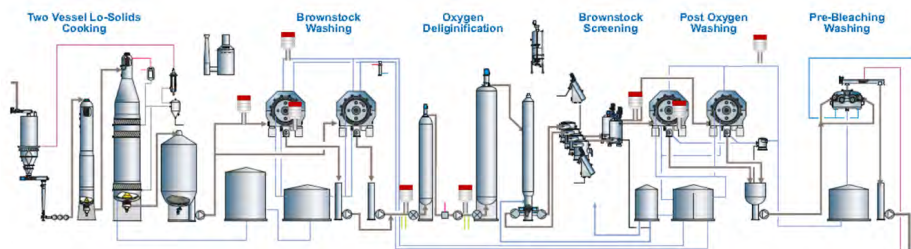
Materiaalit ja menetelmät

Mittausjärjestelyjen suunnittelu aloitetaan miettimällä tehokkuuslaskennan kannalta sopivimman paikat TDS-mittauksille. Sen jälkeen tarkistetaan, löytyykö putkistosta ja pumpuilta sopivat asennuskohdat sensoreille. Hyvä asennuskohta on putken ulkokaarre tai riittävän pitkä osuus suoraa putkea. Sensorin pää asennetaan pienessä kulmassa nestevirtaan, jotta se saa hyvän kontaktin mitattavaan

aineeseen, muttei tuki liikaa putkistoa eikä kerää taakseen likaa. Keskisakeusmassoihin asennettaessa kuitu pyyhkii mittapäätä ja pitää sen puhtana. Joskus suodosmittaukset varsinkin koivuajolla saattavat likaantua sopivissa prosessiolosuhteissa. Jos tätä ei pystytä ratkaisemaan virtausefektilä, puhdistus voidaan järjestää vesi- tai höyrypesulla diagnostiikkatietojen perusteella. Ennen sensorien asennusta mietitään myös, että datansiirto kaapelivetojen avulla on toteutettavissa, ja lähinnä vältetään useiden kymmenien metrien vetoja. Vanhoilla tehtailla analogipaikat voivat olla ajoittain täynnä ja kaapelivedot hyvinkin pitkiä. Suodosmittarit on viime aikoina asennettu useimmiten pumpun yli asennuksin imupuolen natsasta poistupuolen natsaan tehtaan alakerran suodospumpuille helpomman huollon ja näytteenoton vuoksi. Päävirta on kuitenkin puhtana pysyvyyden kannalta usein parempi ratkaisu. Massalinja asennukset tehdään tavallisesti mahdollisimman lähelle pesurin syöttöä pesuritasolle. Pääsääntöisesti asennusyhteet ja venttiilit hitsataan vuosiseisakissa. Seuraavassa vaiheessa asennetaan sensorit, yhdistetään ne lähettämiin ja testataan mittarien toimivuus sekä tehdään kenttäkalibrointi laboratorionäytteiden tuloksia hyödyntäen. Useimmiten mittauksissa on valmiina havusellun kemikaalikäyrä, ja tämä on hyvä huomioida lyhytkuitu- ja lajinvaihtotehtailla. Swing-tehtailla kalibroinnin voi vaihtaa lajinvaihtotiedosta.

Pesututkimuksen toteutus

Kuvassa 5 on esitetty mittausjärjestelyt eräällä skandinaavisella sellutehtaalla. Keittimen jälkeen olevalle toiselle rinnakkaisista pesureista on asennettu TDS-mittaukset syöttömassaan, tulevaan pesunesteeseen ja melko hyvin poistomassaa kuvaavaan palautussuodokseen. Samat mittaukset on asennettu happivaiheen jälkeiselle vastaavalle pesurille. Lisäksi tehtaalla on kaksivaiheisen happivaiheen molemman reaktorin syötöissä paikat sensoreille. Näiden mittauksien avulla on jatkossa mahdollisuus seurata kyseisten pesurien toimintaa ja tehdä niiden perusteella tehokkuuslaskentoja.



KUVA 5. Kaaviokuva toteutuneista mittausjärjestelyistä koetehtaalla (kuva Riku Kopra).

Sensorin mittatiedot kerätään tehtaan järjestelmään. Sieltä ne ovat siirrettävissä esimerkiksi Wedge™-analyysityökaluun, jolla voidaan tehdä kuvaajia ja laskentoja. Tavallisesti refraktometrien TDS-mittaustuloksien pohjalta muodostetaan reaaliaikainen tase pesurille käyttäen pesurille tulevien ja sieltä poistuvien suodosvirtojen mittaustuloksia. Reaaliaikaiset arvot Y_{10} tai E_{10} lasketaan taseesta. Y_{10} -arvon ideaana on eliminoida pesurin syöttösakeuden vaikutus laskentaan säätämällä sakeus kymmeneen prosenttiin (Tervola 2015). On tunnettua, että syöttösakeudella on vaikutusta perinteiseen Y-pesusaantoon. Y_{10} -arvon käyttö tekee eri pesureiden vertailusta helpompaa.

Johtopäätökset

Ruskean massan pesulla vaikutetaan moneen eri osaprosessiin sellutehtaalla, ja siksi on tärkeää seurata pesun onnistumista. Riittävällä määrällä reaaliaikaisia mittauksia voidaan luoda laskentajärjestelmä, jolla voidaan määrittää yksittäisen pesurin tehokkuus.

Tässä artikkelissa esiteltiin, mitä asioita pitää huomioida suunniteltaessa kattavaa mittausjärjestelyä tehtaalle. Jatkuvat mittaukset mahdollistavat pesun monitoroinnin sekä määrittävät sopivat prosessiolosuhteet ja optimin ajotavan pesulaitteille. Näin voidaan tehostaa pesua, ja sillä on selvä vaikutus pesulinjan kokonaistehokkuuteen ja taloudellisuuteen.

LÄHTEET

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

Karjalainen, S. & Pulkkinen, A. 2017. Ruskean massan pesun ja keiton optimointi-seminaari, Savonlinna, 15.11.2017.

Kopra, R. 2015. Application of the refractometer in the measurement and monitoring of brown stock washing. Väitöstyö, 2015.

Tervola, P., Andersson, R., Danielsson, M., Engelfeldt, A., Kiero, S., Olsson, K., Pikkala, 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.

MIKROFIBRILLOITU SELLULOOSA (MFC) PAPERI- JA KARTONKITUOTTEISSA

Maria Luukkanen

Mikrofibrilloitu selluloosa (MFC) on mikrometrien pituista lyhyttä fibrilloitua kuitua, ja sitä on alettu hyödyntämään ja tutkimaan enemmän pakkausmateriaalien lujuuslisäaineena. MFC saa lopputuotteesta lujemman ja vahvemman, ja sitä voidaan käyttää monissa muissakin parempaa kestävyyttä vaativissa biopohjaisissa pakkauksissa.

Kehittyneillä sekoitustavoilla vähennetään merkittävästi prosessikemikaalien kulutusta sekä saadaan parannettua lopputuotteen laatua ja vähennettyä tuotantoprosessin veden- ja energiankulutusta. Sekoitus myös parantaa haluttujen täyteaineiden ja kahden eri massalaadun sekoittamista keskenään yhdeksi paperi- tai kartonkimassaksi. Tästä esimerkkinä on MFC:n sekoittaminen paperi- ja kartonkimassojen sekaan yhdessä retentioaineiden ja lisäaineiden kanssa.

Nämä tutkimukset perustuvat artikkelin kirjoittajan opinnäytetyöhön (Luukkanen 2022), ja osa tutkimuksista on tehty CEBIPRO-hankkeelle. CEBIPRO-hankkeen rahoittajana on Euroopan unionin NextGeneration EU-rahoitus Suomen kestävän kasvun ohjelmasta. Yhteistyöyhtiöitä ovat muun muassa Wetend Technologies Oy, Valmet Oyj, Stora Enso Oyj, Aguaflow Oy, Fiber-X Finland Oy ja UPM-Kymmene Oy. Hanke on alkanut tammikuussa 2023 ja on parhaillaan käynnissä.

MFC raaka-aineena

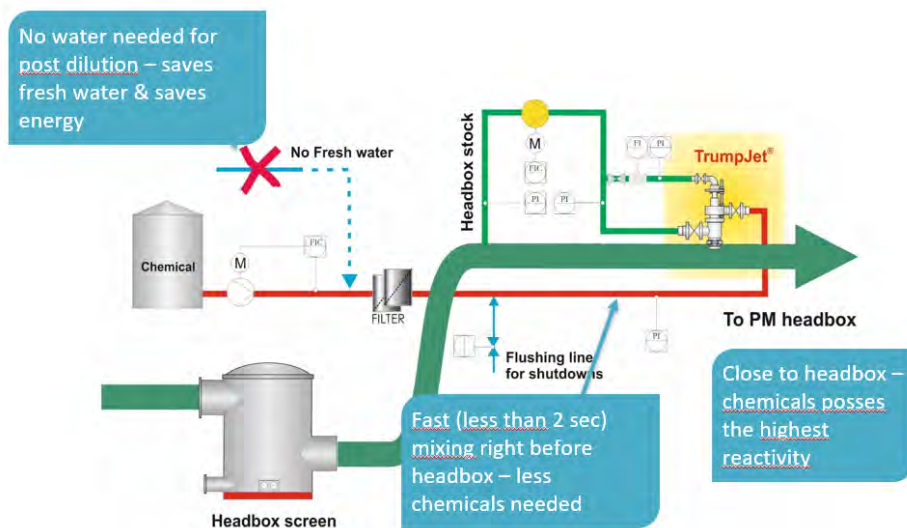
MFC:stä saadaan koostumukseltaan erilaatuista eri prosessoineilla. Eri laaduilla on myös eri vaikutuksia. Näiden laatutyyppejä ei ole vielä julkaistu laajasti eikä tiedetä, kuinka iso vaikutus lopputuotteeseen saadaan käyttämällä eri MFC-laatuja ja miten MFC:n esikäsitteilytekniikat vaikuttavat paperin tai kartongin loppulaatuun.

VTT on kehittänyt regeneroidusta selluloosasta läpinäkyvän kalvon, joka voi olla muovikalvojen korvaajana pakkauksissa noin seitsemän vuoden kuluttua. Uuden

selluloosakalvon myötä pakkausten kierrätys muuttuu helpommaksi. (VTT 2022.) MFC:tä tutkitaan jatkuvasti ja uskotaan, että tulevaisuudessa MFC:tä voidaan hyödyntää paremmin pakkauksien vahvennuksena. Lisääntyneen lujuuden ansiosta myös kartonkipakkauksen painoa voidaan keventää.

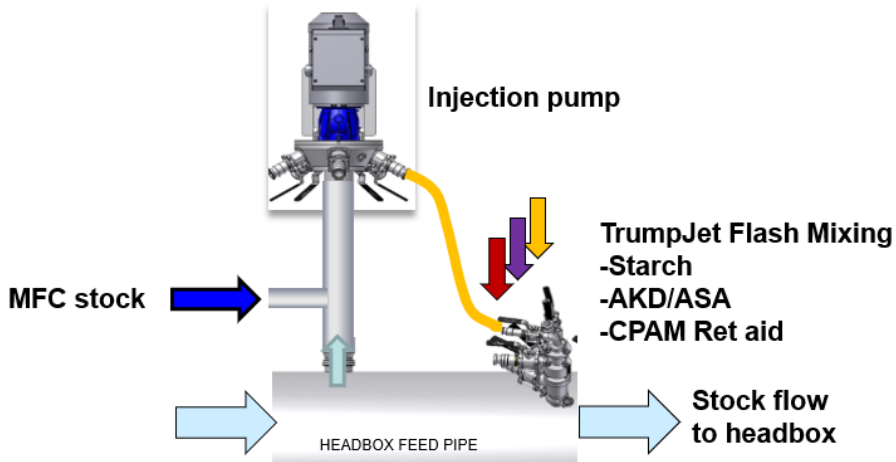
Tehokkaampaa ja hyödyllisempää sekoitusta

Parempaa ja tehokkaampaa menetelmää fibrillien kiinnittymispotentiaaliin kehitetään, ja sen mukaan testataan erilaisia annostelumenetelmiä eri viiveillä. Tällä tavalla mahdollistettaisiin tulevaisuudessa kestävämpiä pakkauksia. MFC:n lisäksi hyötynä onkin se, että lujuus paranee ja lopputuotteen laatu on kokonaisuudessaan parempi. Esimerkki Wetend Technologies Oy:n TrumpJet® Flash Mixing -sekoitusasemasta on esitetty kuvassa 1.



KUVA 1. Wetend TrumpJet® Flash Mixing -sekoitusasema (kuva Wetend).

Oikeanlainen sekoitustapa saa partikkelit jakautumaan tasaisesti paperi- tai kartonkimassan sekaan. Aiempien laboratorio-olosuhteissa tehtyjen testien perusteella nopeamman sekoituksen on havaittu parantavan sekoituksen tasaisuutta. Paremmalla sekoituksella on saatu huomattavasti vähennettyä vedenkulutusta ja pienennettyä kemikaalien kulutusta. MFC:n geelimäinen fibrilleistä koostuva jae fluidisoituu injektiosekoituksen leikkausvoimakentässä ja sekoittuu nopeasti ja tasaisesti pääprosessin kuituvirtaan samanaikaisesti prosessikemikaalien kanssa (kuva 2).



KUVA 2. TrumpJet Flash Mixing -sekoitusasema MFC-massalle sekä märkäosan kemikaaleille (kuva Matula 2020).

Sekoitusta on tutkittu laboratorio-olosuhteissa ja tällä tavalla on pystytty saamaan luotettavaa tietoa tavoitteellisten annostelumäärien vaikutuksesta paperin laatuun. Tehdasolosuhteissa tapahtuvalla nopeammalla ja tehokkaammalla sekoituksella saadaan parannettua lopputuotteen laatua käytännössä huomattavasti.

MFC-lisäyksen tutkimukset

Paperiarkkien tekeminen ja MFC:n lisäys nopealla sekoituksella oli ensisijainen asia näissä tutkimuksissa. Tavoitteena oli saada kasvatettua MFC:n retentiota ja parantaa kokonaisuudessaan paperin ominaisuuksia, kuten lujuutta ja formaatiota.

Testit tehtiin laboratoriomittakaavan laitteistoilla. Paperiarkit tehtiin Moving Belt Formerilla (MBF), retentiotutkimus Retention Potential Analyzerilla (RPA) ja kuituanalyysi Valmet Fraktionatorilla. Analyysyjä tehtiin sekä selluloosasta että tehdyistä paperiarkeista. Näiden analyysien tarkoitus oli saada tietoa siitä, kuinka käytetyt menetelmät ja kemikaaliannokset vaikuttivat lujuuteen, paperiin jäljelle jääneeseen täyteainemäärään ja formaatioon. Valituista koepisteistä otettiin lisäksi SEM-kuvia.

Tulokset

RPA:lla saatiin selville, miten halutut retentioainemäärät vaikuttavat suhteelliseen MFC:n retentioon. Testeissä havaittiin myös, että MFC:n lisäys yhdessä retentioaineiden ja täyteaineen kanssa nostaa suhteellista retentiota hieman. Retentio

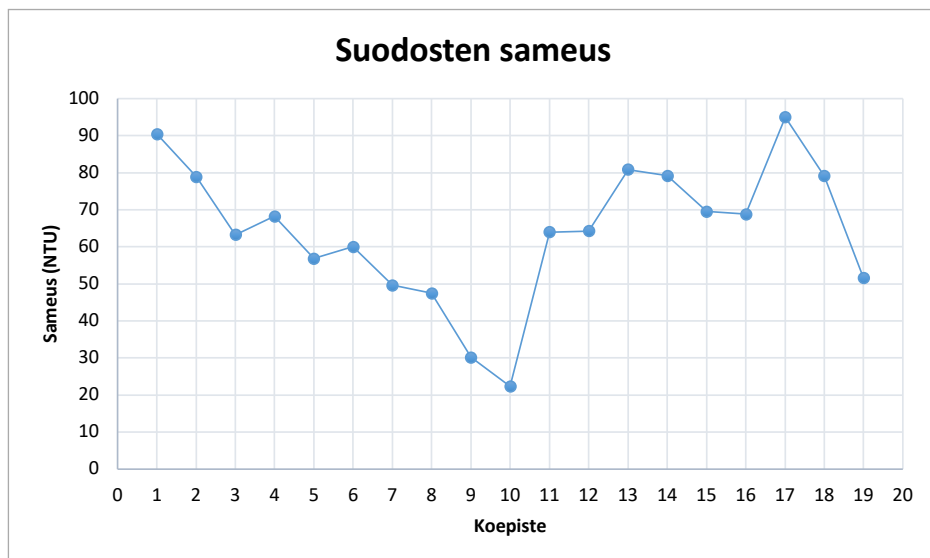
saatiin korkeaksi tavalliseen tapaan suuremmalla 800 g/t kemikaalimäärällä, mutta tavoitteen mukaan laskemalla annosmäärää pienemmäksi suhteellinen retentio saatiin myös sopivalle tasolle noin 70–80 prosenttiin. Tämän mukaan korkeampaa kemikaalimäärää ei ole järkevää käyttää, eikä se olisi taloudellistakaan, eikä siitä myöskään saisi hyötyä oikealla paperikoneella, koska reaktio kuituihin on liian raju.

MBF:llä tehdyistä paperiarkeista mitattiin retentio, tuhka, formaatio ja vetolujuus. Suodosvesistä tehtiin sameusanalyysi ja tutkittiin, kuinka paljon veteen on jäänyt hienojaetta, kuituja ja MFC:tä paperinvalmistusprosessin jälkeen.

Fraktionaattorilla tehdyissä testeissä havaittiin, että kuvissa ja kuidunpaksuuksissa voidaan nähdä, että MFC:n jakeita on kokonaisuudessaan vähemmän silloin, kun käytetään hyvin vähän retentioainetta ja sekoitus ja annostelu tehdään perinteisellä menetelmällä.

Arkien valmistuksessa tulokset, kuten formaatio ja vetolujuus, saatiin tavoitteellisesti paremmiksi sopivalla retentioainemäärällä. Liian suuri annosmäärä ei enää paranna paperin laatua eikä tuloksia saada järkeviksi. Sen lisäksi se kuluttaa vettä ja kemikaalia tarpeettomasti, mikä ei ole ekologista.

Suodosvesien sameusmittauksissa havaittiin, että sameus pieneni sitä mukaa, kun koepisteissä edettiin. Sopiva retentioaine-annostelu ja tärkkelyslisäys paransivat siis kiinnittymistä, jolloin suodosveteen jääneitä partikkeleja oli vähemmän (kuva 3).



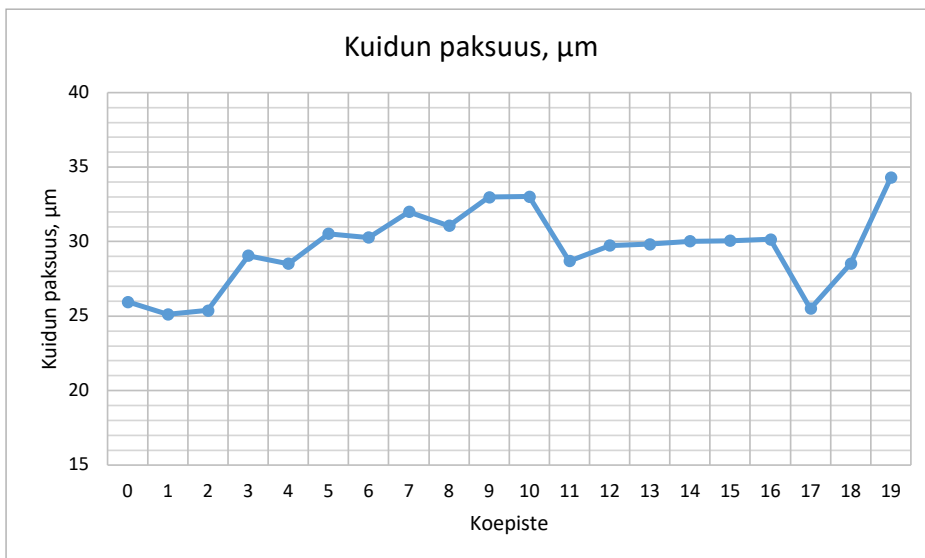
KUVA 3. Suodosten sameuden tuloksia (kuva Maria Luukkanen).

Fraktionaattorilla saatiin tarkkaa kuvaa siitä, kuinka sellumassan kuidut ja hieno-
 jae ovat jakautuneet ja kuinka paljon erikokoisia partikkeleja on lajitteluvaiheissa
 näkyvissä. Kuvassa 4 on esitettyä kuvia saaduista fraktionaattorituloksista sekä
 kuitujen jakautumisesta ja retentioainemäärän vaikutuksesta.



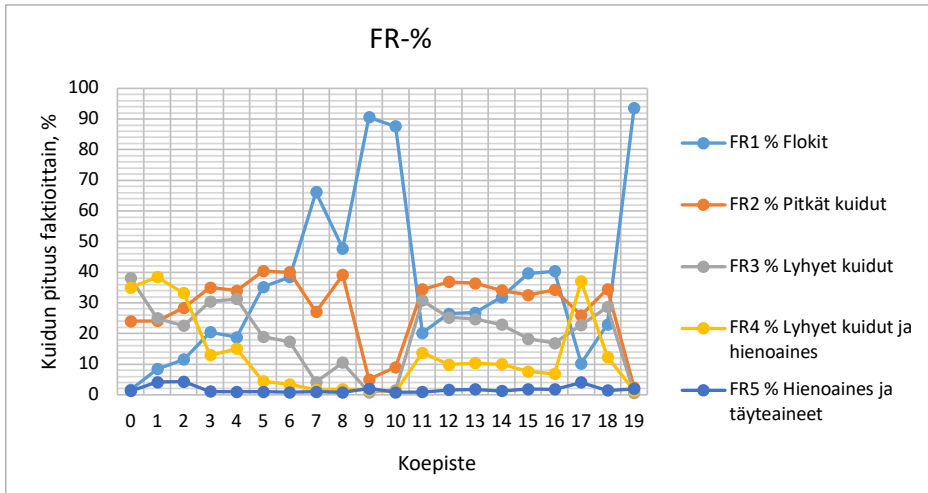
*KUVA 4. Kuitujen paksuusvaihtelu eri kemikaaliannoksilla. Oikeanpuoleisessa ku-
 vassa nähtävissä 800 g/t annoksen vaikutus kuituihin. (kuva Maria Luukkanen)*

Kuitujen mitatun paksuuden huomattiin kasvavan, kun seokseen lisättiin mukaan
 tärkkelystä ja MFC:tä. Kuidun paksuuden mittauservo kasvoi, koska kuituun kiin-
 nittyi retentioaineiden ja tärkkelyksen vaikutuksesta MFC- ja hienoaine-agglome-
 raatteja. Tärkkelyksen havaittiin muodostavan myös flokkeja eli kuitukimppuja.
 Korkeamman retentioainemäärän havaittiin reagoivan kuituihin liian voimakkaas-
 ti (kuva 4). Kuvassa 5 on esitetty kuidun paksuuksien erot koepisteittäin. Kuidun
 paksuus kasvaa, kun käytetään suurempaa retentioainemäärää.



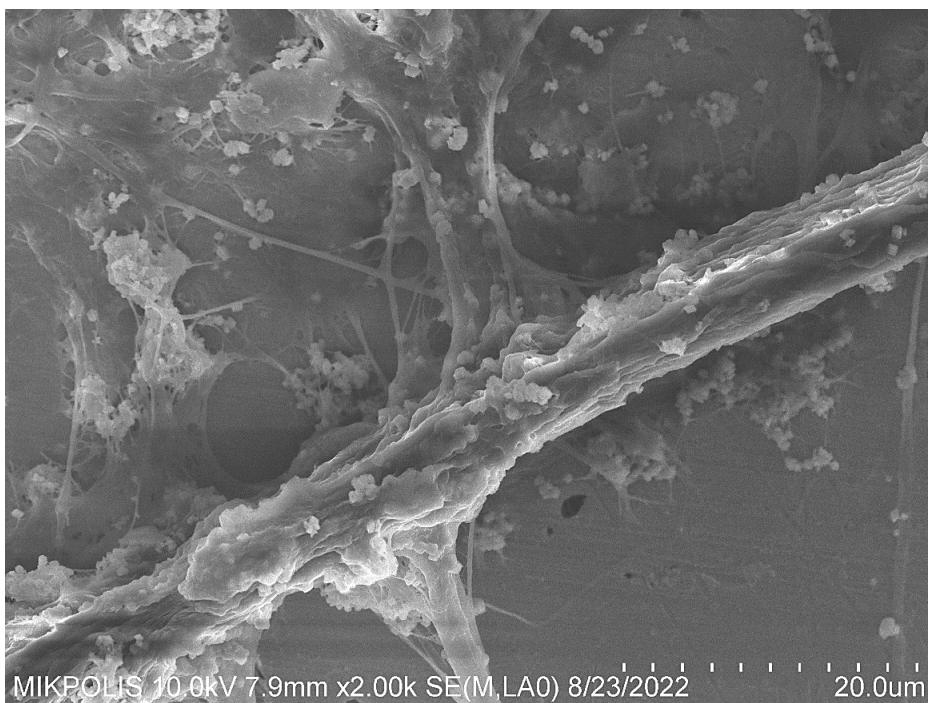
KUVA 5. Mitatut kuidun paksuuden erot (kuva Maria Luukkanen).

Pitkien ja lyhyiden kuitujen, hienoainemäärän ja flokkien osuutta fraktioinnissa on havainnointu kuvassa 6. Flokkien osuus prosentteina kasvaa ja korostuu erityisesti suuremmalla retentioainemäärällä, mikä vähentää osaltaan pitkien ja lyhyiden kuitujen osuutta, koska kuidut ovat kiinnittyneet toisiinsa ja irtonaisia kuituja on vähemmän.



KUVA 6. Eri kuidunpituusfraktiot ja niiden osuus prosentteina (kuva Maria Luukkainen).

SEM-kuvien tarkoituksena oli ottaa kuvia valituista koepisteistä ja tarkastella kuvien avulla agglomeraattien ja MFC:n fibrillien kiinnittymistä pintamassan kuituihin. Kuvassa 7 on esitettyä yhden koepisteen SEM-kuva, jossa näkyy MFC:n fibrillejä kiinnittyneenä pintamassaan, hienoaines-agglomeraatteja sekä muita täyteainepartikkeleja.



KUVA 7. Agglomeraatteja ja MFC:n fibrillejä pintamassan kuiduissa (kuva Maria Luukkanen).

Jatkotutkimukset ja havainnot

Jatkotesteissä käytettiin hieman edellistä tehokkaampaa sekoitusta ja massa sekoitettiin etukäteen ennen massan annostelua. Retentiotutkimuksissa käytetty 450 g/t retentioainemäärä ja pienempi MFC-osuus nostavat retention lähes tavoitteelliselle tasolle.

Paperiarkkien analyysit ja niistä saadut tulokset osoittivat, että paperin lujuus kasvaa, MFC:n kiinnittyminen paperiarkkiin paranee ja arkin formaatio on myös huomattavasti parempi jatkotesteissä.

Kaikkien tulosten perusteella MFC kiinnittyy pintamassan kuituihin kiinni tehden lopputuotteesta lujemman ja ominaisuuksiltaan paremman. Erot saaduissa tuloksissa eivät olleet kovin suuria. Havaintona voidaan todeta, että pienemmällä retentioainemäärällä päästään jo sopivalle tavoitteelliselle retentiotasolle. Myös formaatio ja lujuus paranevat samoilla annoksilla.

LÄHTEET

Luukkanen Maria, 2022. Mikrofibrilloidun selluloosan sekoituspotentiaalin selvitys. Opinnäytetyö. Tekniikan alan ammattikorkeakoulututkinto Biotuotetekniikan koulutus, Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu. Saatavissa: <https://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-2022110722141> [viitattu 26.10.2023].

Matula, J. 2020. Wetend Technologies Oy. TAPPI PaperCon 2020: The new benefits of paper and board making wet end additives in groups in a flash mixing reactor. Konferenssijulkaisu.

VTT kehitti läpinäkyvän selluloosakalvon korvaamaan perinteistä muovia elintarvikepakkauksissa. 2022. VTT. Artikkel. 6.6.2022. Saatavissa: [VTT kehitti läpinäkyvän | VTT \(vttresearch.com\)](https://vttresearch.com) [viitattu 29.9.2023].

UUSIMMAT EDISTYSASKELEET ”IMPRESS-BIOJALOSTAMON” PROSESSIVAIHEIDEN KEHITYKSESSÄ

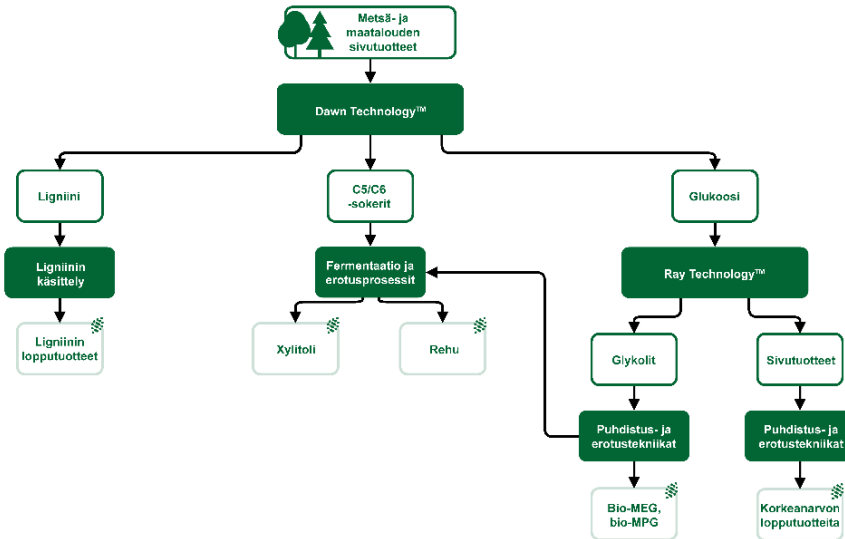
Noora Haatanen

Uudenlaista biojalostamokonseptia kehittävän IMPRESS-hankkeen viimeinen vuosi on tuonut mukanaan edistystä monella eri osa-alueella. Tämä artikkeli kokoaa yhteen konsortion tuloksia ja esittelee uusimpia saavutuksia. IMPRESS – Integration of efficient downstream PROcessEs for Sugars and Sugar alcohols -hanke on saanut rahoitusta Euroopan unionin Horisontti 2020 -tutkimus- ja innovaatio-ohjelmasta rahoitus sopimuksen No. 869993 mukaisesti, ja sen kesto on 1.9.2019–28.2.2024. Hankkeen tavoitteena on integroida valikoituja todennettuja konversioteknologioita sekä tarvittavia puhdistus- ja erotustekniikoita ja näin luoda mahdollisimman tehokas ja ympäristöystävällinen prosessi, jolla voidaan saavuttaa puhtaampia lopputuotteita sekä ekologisempia materiaaleja ja kemikaaleja korvaamaan fossiilisia vaihtoehtoja.

Impress-hankkeen tilannekatsaus

IMPRESS-hankekonsortio koostuu kymmenestä eurooppalaisesta partnerista, joiden tavoitteena on yhdessä kehittää uudenlainen menetelmä jalostamaan lignoselluloosapohjaisesta raaka-aineesta uusiutuvia kemikaaleja ja materiaaleja. IMPRESS-biojalostamokonsepti perustuu jo todennettujen puhdistus- ja erotustekniikoiden, kuten kiteytymisen, tislauksen, suodatuksen, SMB (*simulated moving bed*) -kromatografian ja adsorption, tehokkaaseen integrointiin prosessin eri materiaalivirtojen laadun optimoimiseksi (kuva 1). Jatkokäsittelyvaiheiden yksityiskohtaisella suunnittelulla pyritään varmistamaan materiaalivirtojen hyödynnettävyys seuraavissa prosessivaiheissa sekä lopputuotteiden puhtaus. Konseptiin kuuluvat keskeiset konversiotekniikat ovat Dawn Technology™ ja Ray Technology™, ksylitolin fermentointitekniikka sekä ligniinin aktivointi ja prosessointi ligniininanopartikkeleiksi.

Tämä artikkeli kokoaa yhteen konsortion uusimpia tuloksia viimeisen vuoden ajalta. Hankeconsortion partnereista, heidän rooleistaan sekä hankkeen tavoitteiden ja ensimmäisen kolmanneksen saavutuksista löytyy enemmän tietoa aikaisemmasta julkaisusta (Haatanen & Ontronen 2021, Jordan 2021).



KUVA 1. IMPRESS-biojalostamokonsepti, jossa kuvattuna tämän artikkelin käsittelemät prosessivaiheet (kuva Juha-Pekka Ontronen).

Merkittäviä edistysaskeleita on otettu konsortion koordinaattorin Avantium Technologies -yhtiön patentoiman Dawn Technology™-prosessin tuotteiden testaamisessa prosessiketjun seuraavissa vaiheissa. Demonstraatiolaitoksen tuotantokapasiteettia optimoitiin ja laitoksesta saatuja sokeri- ja ligniininäyte-eriä toimitettiin partnereille erilaisiin puhdistus- ja erotuskokeisiin. Projektipartneri Lennotech onnistui esikäsittämään Dawn Technology™-sokeriyhdisteitä (jatkossa ns. Dawn-sokereita) jatkosovellustestausta varten, ja niitä on testattu muun muassa monoetyleeniglykolin (MEG) ja monopropyleeniglykolin (MPG) sekä biomassan ja ksylitolin valmistuksessa. Tulosten perusteella sokerivirran esikäsittelyllä saavutettu puhtausaste todettiin tyydyttäväksi Avantiumin Ray Technology™-testauksessa ja myös toisen projektipartnerin, Vogelbuschin, fermentointisovelluksissa. (Cordis 2022)

Dawn-sokereista glykolyhdisteitä jalostavan Ray Technology™-prosessin tuotevirtojen puhdistamista on tutkittu muun muassa sulakiteytysmenetelmällä. Erityisenä haasteena tämän tuotevirran kohdalla on sen muodostama atseotrooppinen seos, eli tietyssä pisteessä erotettavilla aineilla on lähes sama kiehumispiste, mikä vuoksi seos tislautuu muuttumattomana. Aalto-yliopisto on onnistunut osoittamaan, että tislauksen sijaan glykolyhdisteen erotuksessa voidaan hyödyntää sulakiteytystä, ja näin on saavutettu isoja edistysaskelia ultrapuhtaan monoetyleeniglykolin valmistuksessa. (Ila 2023, IMPRESS uutiskirje #6 2023)

Eri kiteytysmenetelmiä tutkittiin myös ksylitolin talteenottovaiheessa. Kokeiden avulla saavutettiin hyödyllistä tietoa eri kiteytysmenetelmien eroista sekä

kiteytysolosuhteiden vaikutuksesta lopputuotteen kidekokoon ja -jakaumaan. (Zaykovkaya 2023, IMPRESS uutiskirje #6 2023)

Lisäksi jatkettiin tutkimuksia Dawn Technology™ -demonstraatiolaitoksesta saaduilla raakaligniininäytteillä. Raakaligniinistä tuotettiin onnistuneesti aktiivihiltä, ja Aalto-yliopisto kehitti ja optimoi ligniininanohiukkasten valmistusprosessiaan (Cordis 2022). Erillisillä käsittelyillä ligniinin ominaisuuksia voidaan säätää jatkokäytölle ihanteellisemmiksi.

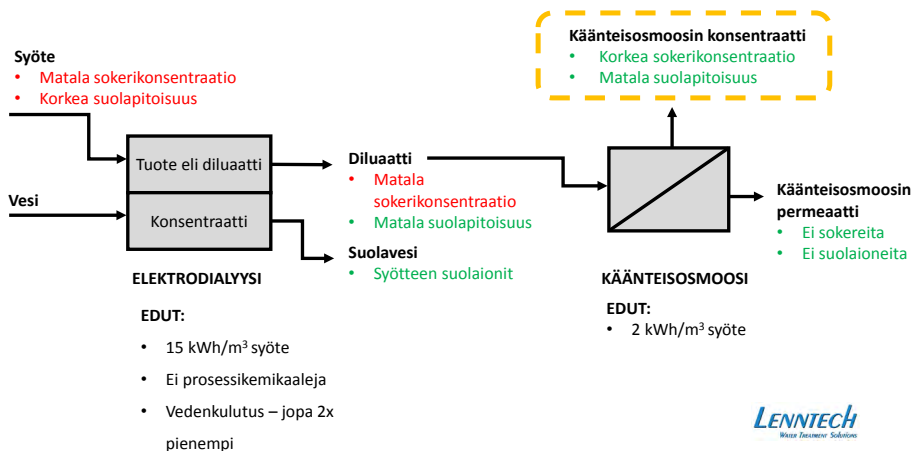
Edellä kuvattuja saavutuksia on kuvattu tarkemmin seuraavissa luvuissa.

Vähemmän vettä ja kemikaaleja elektrodialyysillä

Dawn Technology™ -prosessissa lignoselluloosa hajotetaan suolahapon avulla, minkä vuoksi syntynyt sokereivirta eli Dawn-sokerit sisältävät happojäämiä. Happamuus voi vaikeuttaa sokereiden hyödyntämistä seuraavissa prosessivaiheissa vaikuttaen muun muassa laitteiston materiaalivalintoihin ja kustannuksiin sekä prosessissa käytettävän katalyytin suorituskykyyn, elinikään ja selektiivisyyteen. Perinteisesti happamuuden säätöön on käytetty muun muassa ioninvaihtohartsia. Menetelmä on laajasti käytetty ja tunnettu, mutta se kuluttaa paljon vettä ja kemikaaleja sekä tuottaa täten paljon jätevettä. IMPRESS-hankkeessa testattiin happamuuden säätöä elektrodialyysimenetelmällä, joka on ioninvaihtohartsia ekologisempi vaihtoehto ja soveltuu paremmin korkeille ionikonsentraatioille. (IMPRESS-webinaari 2023)

Toinen tutkintalinja oli sokereiden pitoisuus eli konsentraatio hydrolyysiliuoksessa. Dawn-sokereita sisältävä liuos on konversiovaiheen jälkeen vielä laimeaa, mikä vaikeuttaa sen jatkokäyttöä. Teollisten prosessivirtojen saostamisessa hyödynnetään yleisesti haihdutusta, mutta se on hyvin energiantensiivinen teknologia. IMPRESS-hankkeessa tutkittiin konsentraation säätöön aluksi erilaisia membraanisuodatusmenetelmiä, mutta päädyttiin lopulta käänteisosmoosiin, jolla saavutettiin hyviä tuloksia. (IMPRESS-webinaari 2023)

Lenntech suoritti pilot- ja laboratoriotason kokeita valituilla vaihtoehtoisilla tekniikoilla. Elektrodialyysillä saavutetut tulokset olivat lupaavia (kuva 2). Elektrodialyysillä saavutettiin 99 prosentin ioninpoisto. Sokerihäviöt konsentraatin joukkoon olivat hyvin pienet, alle yksi prosentti. Myös energian- ja vedenkulutus olivat elektrodialyysissä vaihtoehtoisiin menetelmiin verrattuna hyvin maltilliset. Käänteisosmoosilla saavutettiin 8–10 saostuskerroin, joka on myös oikein hyvä tulos. Sokerihäviöt olivat käänteisosmoosissa mitättömät, ja energiankulutus vain 2 kWh/m³ syötettä kohden. (IMPRESS-webinaari 2023)



KUVA 2. Elektrodialyyysin ja käänteisosmoosin hyödyntäminen Dawn-sokereiden puhdistamisessa (kuva mukailen Lenntech IMPRESS -webinaari 2023 -esitys).

Lenntech ja PDC ovat työskennelleet yhdessä konseptimallinnuksen parissa ja vertailleet useita eri skenaarioita elektrodialyyysin integroinnin hyödyistä ja mahdollisia seurauksia suunniteltuun kaupalliseen laitokseen. Tulokset osoittivat, että elektrodialyyysi voisi tarjota kestävän ratkaisun Dawn-sokeriliuosten suolapitoisuuden eli happamuuden säätöön sekä ympäristövaikutusten että taloudellisen kannattavuuden kannalta. Elektrodialyyysin käyttäminen sokeriliuoksen happamuuden poistamiseen voi vähentää merkittävästi kemikaalien ja veden käyttöä, mikä parantaa prosessin yleistä kestävyttä ja houkuttelevuutta. Lisäksi elektrodialyyysi on yksinomaan sähköllä toimiva prosessi, joka edistää koko konseptin sähköistämistä. (IMPRESS-webinaari 2023, IMPRESS-utiskirje #7 2023)

Eri kiteytymenetelmien tutkimus vaihtoehtoisena erotusvaiheena

Uusiutuvasta raaka-aineesta voidaan johtaa useita tärkeitä peruskemikaaleja teollisuuden käyttöön. Näiden niin sanottujen biotalouden rakennuspalikoiden esikäsittely eli puhdistaminen on tärkeä askel korkealaatuisten ja kestävien biokemikaalien tuotannossa. Eri kiteytymenetelmiä tutkittiin IMPRESS-konseptin kahdessa eri applikaatiossa, monoetyleeniglykolin sekä ksyylitolin talteenotossa.

Monoetyleeniglykoli (MEG) on tärkeä raaka-aine monilla eri teollisuuden aloilla, kuten polyesterikuitujen ja -hartsien sekä vetypolttoaineen valmistuksessa ja kemikaalien tuotannossa. Tislaus on yleisesti käytetty erotus- ja puhdistustekniikka. Monet viimeaikaiset tutkimukset kuitenkin osoittavat, että glykolin erottaminen toisistaan perinteisellä tislauksella on vaikeaa niiden läheisten kiehumispisteiden tai atseotroopin muodostumisen vuoksi. (Ila 2023.)

Aalto-yliopiston suorittama tutkimus keskittyy diolien ja polyolien seoksen puhdistamiseen sulakiteytysprosessilla, ja sen tavoitteena on tuottaa erittäin puhtaita lopputuotteita tai raaka-aineita muihin teollisiin sovelluksiin. Sulakiteytyksen todettiin tuovan etuja MEG:n atseotroopin muodostavan seoksen puhdistuksessa. Tutkimus osoitti, että sulakiteytys kontrolloiduissa olosuhteissa sopivaa lisäainetta käytettäessä tehosti merkittävästi puhdistusta yhden kiteytysvaiheen kautta. Kiteytymisen termodynamiikan ja kinetiikan vaikutusta lopputuotteen puhtauteen arvioitiin eri käyttöolosuhteissa. Tutkimus tähtää kiteytysprosessin optimointiin ja loppuvaiheen puhdistustehokkuuden ja tuotteen laadun parantamiseen. (Ila 2023, IMPRESS-utiskirje #6 2023)

Toinen applikaatio, jossa kiteytysmenetelmää tutkittiin, on ksylitolin talteenotto. Ksylitolilla on monia mielenkiintoisia sovelluksia elintarvike- ja lääketieteellisyydessä. Näiden markkinoiden kasvu on johtanut intensiiviseen tutkimukseen, jonka tavoitteena on kehittää kustannustehokas ksylitolin tuotantoprosessi. (IMPRESS-utiskirje #6 2023)

Kiteyttämistä käytetään ksylitolin talteenotossa, koska se mahdollistaa puhtaan kiinteän polyolin erottamisen epäpuhtaista liuoksista yhdessä vaiheessa. Aalto-yliopisto on keskittynyt tutkimuksissaan erilaisten ksylitolin kiteytysmenetelmien (jäähdytys- ja haihdutuskiteytys sekä liukoisuutta alentava liuotinkiteytys) tutkimiseen homogeenisen kidekoon ja -muodon saavuttamiseksi. Saavutettu kide morfologia vaikuttaa merkittävästi jatkokäsittelyyn, kuten kiteiden suodatettavuuteen, suodoksen poistoon ja lopullisen kide tuotteen kuivausominaisuuksiin. Tutkimuksen tavoitteena oli verrata menetelmiä niiden saannon ja kideominaisuuksien perusteella muuttamalla jäähdytysaikaa, viipymäaikaa, liuottimen haihtumisnopeutta, liukoisuutta alentavan liuottimen lisäysnopeutta ja sekoitusintensiteettiä. Myös viskositeetin ja sekoitusolosuhteiden vaikutusta kiteytysprosessiin tutkittiin. Tulokset osoittivat selkeitä eroja eri kiteytysmenetelmien ja saavutettujen kideominaisuuksien välillä. (Zaykovkaya 2023) Tämä antaa hyödyllistä lisätietoa kiteytysmenetelmän valinnassa ja halutun lopputuloksen saavuttamisessa.

Ksylitolin talteenotto kiteyttämällä – Aalto-yliopisto



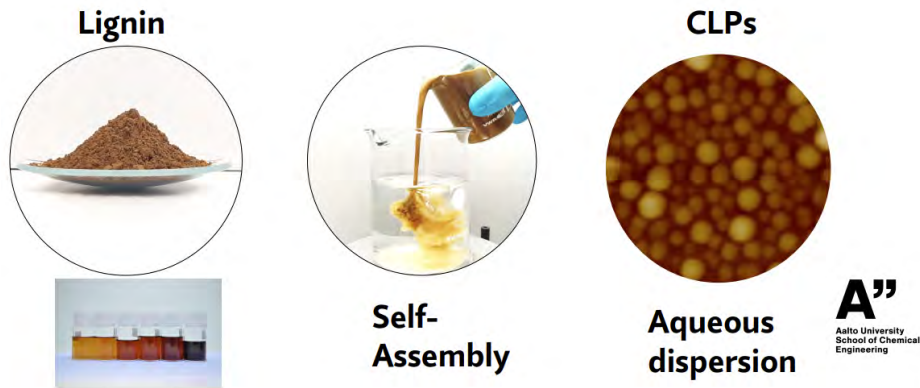
KUVA 3. Aalto-yliopiston ksylitolin talteenottokokeissa käyttämät kiteytysmenetelmät: jäähdytys- ja haihdutuskiteytys sekä liukoisuutta alentava liuotinkiteytys sekä jäähdytyskiteytyksen ja liukoisuutta alentavan liuotinkiteytyksen yhdistelmä (kuva mukailten Aalto-yliopisto IMPRESS-utiskirje #6 2023).

Korkean jalostusarvon ligniinijohdannaisia

Lignoselluloosapohjaisia raaka-aineita jalostettaessa syntyy usein erillinen ligniinivirta. Ligniini on merkittävä biotalouden raaka-aine, jolle on kehitetty useita innovatiivisia korkean arvon sovelluskohteita. Eräs sen haasteista on kuitenkin ligniinimolekyylin monimutkainen ja yksilöllinen rakenne. Ligniinin rakenne ja ominaisuudet ovat vahvasti riippuvaisia käytetystä raaka-aineesta, mutta myös ligniinin erotusmenetelmästä. IMPRESS-hankkeen hydrolyysivaiheessa muodostuu kiinteä ligniinijäännös, niin sanottu Dawn Technology™ -ligniini (jatkossa Dawn-ligniini). Dawn-ligniinin kuvaillaan olevan puhdasta ja sen ominaisuuksista on raportoitu muun muassa vähäinen jäännöshiilihydraattien määrä, vähäinen tuhkapitoisuus, säädettävät kloriditasot ja korkea energiatiheys (IMPRESS Module 3 2022).

Hankkeessa tarkastellaan Dawn-ligniinille kahta jalostuspolkua, ligniininanopartikkeli- sekä aktiivihiihisovellusta. Aktiivihiihisovelluksessa on testattu muun muassa hienonnetun ligniinipulverin pelletointia ennen aktivointia, sillä se helpottaisi materiaalin käsittelyä isommassa teollisessa mittakaavassa. Avantium Technologies vastasi kyseisistä kokeista. Pelletöidyn ligniinin aktivointi suoritettiin 50–100 gramman erissä. Kokeiden perusteella voidaan todeta, että aktivointi ei vaurioittanut pelletin rakennetta. Aktivoinnilla saavutettiin kohtalaisen iso ominaispinta-ala, noin 1 200 m²/g. Tuhkapitoisuus oli raaka-aineen mukaan männällä 5,2 wt% ja haavalla 6,9 wt%. Tulosten perusteella Dawn-ligniini soveltuu aktiivihiihen raaka-aineeksi ja tarjoaa varteenotettavan uusiutuvan vaihtoehdon muun muassa turpeelle ja hiilelle. (IMPRESS Module 3 2022)

Nanopartikkelisovelluksen osalta on edistytty ligniininanopartikkelien valmistuksessa sekä testaamisessa eri käyttösovelluksissa. Tästä tutkimuksesta vastaa Aalto-yliopisto. Kokeissa onnistuttiin muodostamaan ligniininanopartikkelien vesiliukoisia kolloidisia dispersioita. Valmistuksessa käytettiin liuotinvaihtomenetelmää ja antiluuottimena vettä. Ligniinin liuottamiseen testattiin neljää eri orgaanista liuotinta. Tulosten perusteella voidaan todeta, että Dawn-ligniini soveltuu ligniininanopartikkelien valmistukseen liuotinvaihtomenetelmällä. (Wang 2022) Tämä tarjoaa uuden vaihtoehdon erilaisille ligniinipohjaisille materiaalisovelluksille.



KUVA 4. Aalto-yliopiston ligniininanopartikkelisovelluksen tutkimus (kuva Aalto-yliopisto).

Muodostuneita Dawn-ligniininanopartikkeleita testattiin myös erilaisissa sovelluskohteissa. Kokeissa onnistuttiin tuottamaan värittömiä ligniininanopartikkeleita, mikä laajentaa kyseisen raaka-aineen käyttöä sovelluskohteissa, joissa ligniinin tumma väri on epäsuotuisa ominaisuus. Ligniininanopartikkelien osoitettiin toimivan pinta-aktiivisina aineina vesi/öljy-Pickering-emulsion stabiloinnissa ja näin tarjoavan lupaavan ympäristöystävällisen stabilointiainevaihtoehdon. Tulosten valossa biojalostamoiden ligniinien kemiallinen muokkaaminen ja niiden ligniininanopartikkelien tuotanto tarjoaa käyttökelpoisen tavan ligniinin käyttöarvon nostamiselle. (Portes 2022)

Yhteistyön tulosta

Edellä kuvatut tulokset ovat IMPRESS-konsortion ja sen partnereiden määrätietoisen tutkimuksen sekä ahkeran yhteistyön aikaansaannoksia. Hankkeella saavutettuja tuloksia sekä niiden taustalla vaikuttavaa teoretietoa on koottu avoimelle opetuslustalle. Kyseinen digitaalinen biojalostamokurssi on Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulun työpanosta, ja myös sen toteuttaminen on vaatinut jokaisen hankepartnerin panosta. Kurssin nimi on The Future of Biorefining, ja se sisältää hyvin laajan tietopaketin hankkeessa tutkittujen erotus- ja puhdistustekniikoiden sekä hyödynnettyjen konversiotekniikoiden sekä laajemman konsepti- ja elinkaarimallituksen osa-alueista. Opetusalusta on nyt saatu valmiiksi, ja arviointiryhmä on tarkastellut sen sisältöä vuoden 2023 maaliskuu–lokakuussa. Saadun palautteen avulla opetuslusta viimeistellään vuoden 2023 loppuun mennessä.

LÄHTEET

Cordis 2022. Eu research results, Integration of efficient downstream Processes for Sugars and Sugar alcohols. Saatavissa: <https://cordis.europa.eu/project/id/869993/reporting> [viitattu 8.10.2023].

Haatanen, N. & Ontronen, J. 2021. Uusi biojalostuskonsepti uusiutuvien biopohjaisten kemikaalien ja materiaalin valmistukseen. 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> [viitattu 8.10.2023].

Ila, M. & Louhi-Kultanen, M. 2023. Purification of monoethylene glycol by melt crystallization. Chemical Engineering Science 272 (118601). ISSN 0009-2509. Saatavissa: <https://doi.org/10.1016/j.ces.2023.118601> [viitattu 8.10.2023].

IMPRESS Module 3, 2023. The Future of Biorefining e-learning platform, Module 3: Activated carbon production from lignin. Saatavissa: [Activated carbon production from lignin: Dawn Technology™ Lignin \(xamk.fi\)](#) [viitattu 8.10.2023].

IMPRESS-utiskirje #6, 2023. Saatavissa: <https://www.aspire2050.eu/impress/New-Event/glimpses-impress-part-6> [viitattu 8.10.2023].

IMPRESS-utiskirje #7, 2023. Saatavissa: <https://www.aspire2050.eu/impress/New-Event/glimpses-impress-part-7> [viitattu 8.10.2023].

IMPRESS-webinaari, 2023. Conceptual Process Design Of An Optimized and Integrated Biorefinery [webinaari]. Saatavissa: https://www.youtube.com/watch?v=1t_34CgXcR0 [viitattu 8.10.2023].

Jordan, K. 2021. Lessons learned – Verkko-oppimateriaalin tuottamisen kehittämisprosessi. 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> [viitattu 8.10.2023].

Portes Abraham Silva, Y. 2022. Biorefinery lignin: Structural characterization, modification and production of nano-particles for applications. Master's Theses Aalto University, Materials and Biopolymers. Saatavissa: <https://aaltodoc.aalto.fi/handle/123456789/116421> [viitattu 8.10.2023].

Wang, F. 2022. Supramolecular colloidal assembly of flow hydrolysis hardwood lignin from Dawn technology™ process. Master's Theses Aalto University, Fibre and Polymer Engineering. Saatavissa: <https://aaltodoc.aalto.fi/handle/123456789/114461> [viitattu 8.10.2023].

Zaykovskaya, A. & Louhi-Kultanen, M. 2023. Batch Crystallization of Xylitol by Cooling, Evaporative, and Antisolvent Crystallization. *Crystal Growth & Design* 2023 23 (3), 1813–1820. DOI: 10.1021/acs.cgd.2c01323. Saatavissa: <https://pubs.acs.org/doi/full/10.1021/acs.cgd.2c01323> [viitattu 8.10.2023].

NEW COTTON -HANKE DEMONSTROI KIERTOTALOUSAJATTELUN MUKAISTA PUKEUTUMISTA

Noora Haatanen

Ei ole ihan jokapäiväistä, että oman hankkeesi lopputuotteita myydään kansainvälisen brändin nettikaupassa. New Cotton -hankkeella se on totta. Lokakuussa 2022 adidas ja H&M lanseerasivat markkinoille erän vaatteita, jotka oli valmistettu New Cotton -hankekonsortion jäsenten yhteistyönä aina raaka-aineen lajittelusta ja käsittelystä uusiksi kuiduiksi, kankaiksi ja lopulta kuluttajille päätyviksi tuotteiksi. New Cotton (Demonstration of New Cotton like circular fiber for textiles in consumer-facing launches) -hankkeella edistetään tekstiilien kierrätystä ja tekstiilijätteen hyötykäyttöä uudelleen tekstiileinä, ja tavoitteena oli demonstroida tämä kiertotalousmalli kuluttajamarkkinoilla. Hankkeen kesto on 2.10.2020–31.3.2024. New Cotton -hanke on saanut rahoitusta Euroopan unionin Horisontti 2020 -tutkimus- ja innovaatio-ohjelmasta (GA Nro. 101000559).

Tekstiilikiertotalous tutuksi

Tekstiilikiertotalous-termi sekä kuva rekka-autosta kaatamassa lastillista käytettyjä, hylättyjä vaatteita kaatopaikalle joka ikinen sekunti ovat iskostuneet jo monien kuluttajien mieliin. Kuluttajat ovat valpastuneet kyseenalaistamaan sekä oman toimintansa ja kulutustottumuksensa, mutta myös vaatteidensa alkuperän, materiaalit ja ympäristövaikutukset. Onkin ilahduttavaa, että New Cotton hankkeen avulla on saatu tuotua tavallisen kuluttajan saataville sekä todellisia kierrätyskuitutuotteita että tuhti paketti tietoa niiden valmistuksesta ja isommasta kuvasta. Tässä artikkelissa esitellään näitä molempia New Cotton hankkeen konsortion yhteistyön uusimpia saavutuksia: tuotelanseerausta ja avointa tekstiilikiertotalouskurssia.

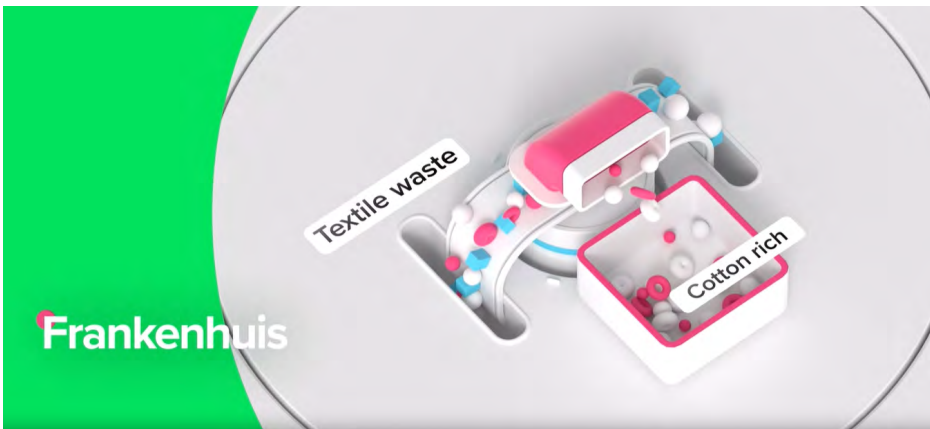
Polku tuotelanseeraukseen

Kun hankekonsortio päättää valmistaa kuluttajamarkkinoille vaatteita tekstiilijätteestä uudella innovatiivisella, mutta vielä pilot-mittakaavassa tuotetulla prosessilla ja valmistaa tuotteisiin vaaditut kuidut, langat ja lopulta kankaat aina värjäystä ja

painatuksia myöten itse, on selvää, että yhteistyön ja aikataulujen yhteensovittamisen tulee olla saumatonta. On jopa pieni ihme, että ajaltaan rajallisen hankkeen tuloksena saadaan ulos vaatekappaleita, jotka ovat läpikäyneet niinkin isojen brändien kuin adidasen ja H&M:n tuote- ja viestintäbyrokratian. Ja että tämä virstanpylväs saavutetaan jo hankkeen puolivälissä!

Käytöstä poistetun tekstiilin matka nettikauppaan

Nostan hattua koko konsortiolle. Sen eri rattaat pyörivät hurjaa vauhtia tämän saavutuksen eteen. Kuluttajatekstiilijäte täytyy ensin kerätä, lajitella ja mekaanisesti esikäsitellä eli hienontaa. Tästä New Cotton -hankkeessa vastaa Frankenhuis (kuva 1). Soveltuvan puuvillapitoisen raaka-aineen lajittelun haasteena ovat muun muassa raaka-aineen epätasalaatuisuus, sekoitteet sekä muoviosat, kuten kuminauhut (elastaani). Lajitteluvaiheen helpottamiseksi Frankenhuis on hankkeen aikana testannut useita erilaisia materiaalientunnistusmenetelmiä.



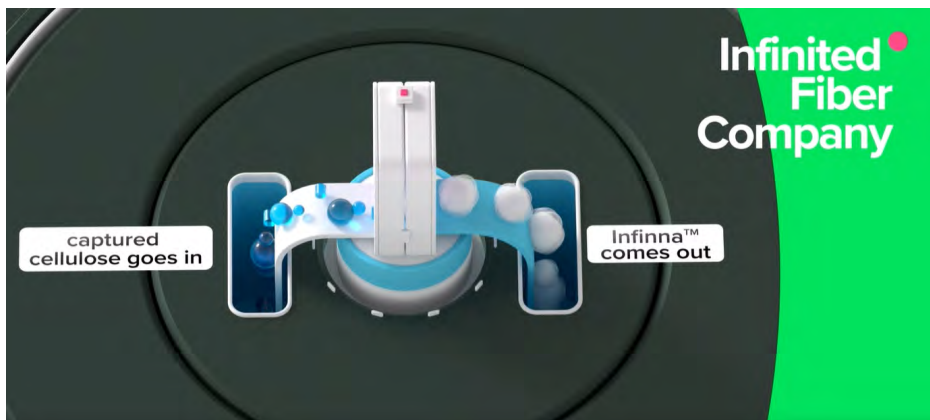
KUVA 1. Ensimmäinen vaihe, lajittelu ja mekaaninen esikäsitely (kuva Fashion for Good).

Suurimmat epäpuhtaudet poistettuna ja sopivaan kuidunpitouteen käsiteltynä raaka-aine saapuu Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulun tutkimusyksikköön Kuitulaboratorioon, jossa siitä kemiallisen esikäsitelyn avulla poistetaan epäpuhtaudet, kuten polyesteri, ja muokataan kuitu seuraavaa prosessivaihetta varten oikeaan molekyyliketjupitouteen (kuva 2). Kemiallisen esikäsitelyn lopputuotteena syntyy lähes puhdasta selluloosaa.



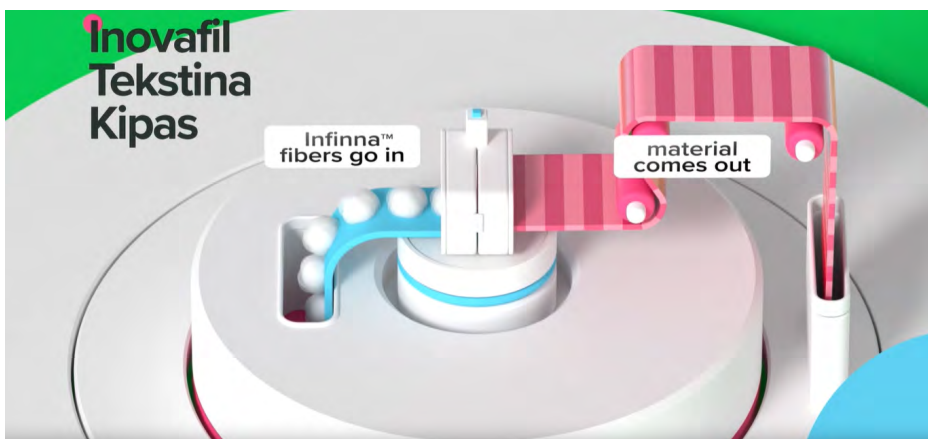
KUVA 2. Toinen vaihe: kemiallinen esikäsitteily (kuva Fashion for Good).

Seuraava vaihe on selluloosan regenerointi uudeksi kuiduksi, ja se käsittää selluloosarakenteen modifioinnin, liuotuksen ja kehruun. Toisin kuin natiivi selluloosa, urealla ja lämmöllä modifioitu selluloosakarbamaatti liukenee mietoon alkaliliuokseen, josta se voidaan kehrätä jälleen kuiduksi. Tästä vaiheesta vastaa suomalainen start-up-yritys Infinited Fiber Company, jonka patentoimalla menetelmällä regenerointi tehdään ja jonka tuotenimeä Infinna™ lopputuote kantaa (kuva 3).



KUVA 3. Kolmas vaihe: kuidun regenerointi (kuva Fashion for Good).

Kun kuitu on jälleen kuitumaisessa muodossa, voidaan se kehrätä langaksi ja siitä kankaaksi. Täysin uuden kuidun kanssa on paljon harjoiteltavaa. Kuidun käyttäytymisen kehruu-, neulonta- ja kudontavaiheessa sekä hankkeen aikataulupaineet asettivat haasteita tästä vaiheesta vastaaville partnereille, joita olivat Inovafil, Teks-tina ja Kipas (kuva 4). Upean ja ammattitaitoisen konsortion yhteisponnistuksena lokakuussa 2022 tuo kaikki työ tuotti tulosta, kun hankepartnerit, kansainväliset brändit, adidas ja H&M toivat kuluttajamarkkinoille tämän prosessiketjun lopputuotteesta valmistetut vaate-erät.



KUVA 4. Neljäs vaihe: langan ja kankaan valmistus (Kuva Fashion for Good).

Adidas, yhteistyössä Stella McCartneyn kanssa, suunnitteli 60-prosenttisesta Infinna™-kuidusta ja 40-prosenttisesta luomupuuvillasta valmistetun verryttelypuvun, jonka väri tulee alkuperäisestä kierrätyskuidusta. H&M valitsi 50 prosenttia Infinna™-kuitua, 30 prosenttia luomupuuvillaa ja 20 prosenttia mekaanisesti kierrettyä kuluttajatekstiiliä sisältävästä materiaalista valmistetun denimasun, joka värjättiin beigeiksi ja painettiin teeman mukaisella kuvioinnilla (kuva 5).



KUVA 5. Kuluttajamarkkinoille lanseeratut tuotteet (kuvat H&M ja adidas).

Tämä kaikki on vaatinut paljon työtä ja osaamista, mutta on myös opettanut partnereille todella paljon koko ketjun haasteista ja mahdollisuuksista. Tämä tietopankki tuodaan hankkeen toisen saavutuksen eli avoimen ja ilmaisen tekstiilikiertotalousverkkokurssin kautta myös kuluttajien saataville.

Tekstiilikiertotalouskurssi

Kun kyseessä on näin valtavan laaja-alainen ja osaava konsortio, on selvää, että tietoa kertyy. Aalto-yliopisto on koonnut tekstiilikiertotalouden, tekstiilien kierrätyksen ja laajemman ekosysteemiajattelun tuhdin tietopaketin, joka antaa sekä tietoa että uusia näkökulmia aiheeseen. Kurssi on kaikille avoin, ei vaadi kirjoutumista eikä opiskelijatunnuksia ja on täysin maksuton. Kurssi löytyy osoitteesta www.circulartextiles.aalto.com.

Kurssi koostuu kahdesta osasta. Ensimmäinen osa esittelee New Cotton hankkeen eri osa-alueet interaktiivisen prosessikaavion avulla, joka käsittää sekä materiaalin ja tiedon kierron eri prosessivaiheiden välillä sekä laajemman ekosysteemisen sijoittelun. Toinen osa paneutuu tekstiilikiertotalouden kehittämiseen ja perustuu perinteisempään videoituun luentomalliin, jossa on aluksi pääluento sekä halukkaille lisämateriaalia eri muodoissa. Tämä osa kurssista on jaettu viiteen aihealueeseen: (1) kiertotalous ja tekstiiliteollisuus, (2) tekstiilituotteiden elinkaari ja suljettu kierto, (3) uudenlaiset liiketoimintamallit, (4) kuluttajien sitouttaminen sekä (5) muut kiertotalousmallin mukaiset huomiot.



KUVA 6. *Circular Textiles* -tekstiilikiertotalouden verkkokurssin aloitussivu (kuva Aalto-yliopisto).

Jatkosuunnitelmat

Hankkeen loppuvaiheen toimenpiteisiin kuuluu muun muassa demonstroidun kiertotalousajattelumallin mukaisen tekstiilien valmistus- ja kierrätysprosessin elinkaarivaikutusten arvioinnin loppuunsaattaminen sekä tulosten julkaiseminen. Kuidusta kuiduksi -vaiheen eli tekstiilijätteestä selluloosakarbamaattikuiduksi valmistusvaiheen elinkaaren aikaiset vaikutukset julkaistaan Cleaner Production -julkaisussa loppuvuonna 2023.

LÄHTEET

New Cotton -hankkeen verkkosivut. Saatavissa: <https://newcottonproject.eu/> [viitattu 25.10.2023]

TEKSTIILIJÄTTEEN REGENEROINTIMENETELMÄN ESIKÄSITTELYVAIHEEN PROSESSIOLOSUHTEIDEN KARTOITUS

Noora Haatanen & Juhana Pakkasmaa & Anu Pihlajaniemi
& Hanna Laukkanen

Kuluttajapoistotekstiili käsittää sekä tekstiilijätteet että käytetyt ja ehjät tekstiilit eli tekstiilituotteet (LSJH). Kuluttajapoistotekstiilin uusiokäyttöön soveltumattoman osan eli kotitalouksien tekstiilijätteen kierrättäminen takaisin uusien tekstiilituotteiden raaka-aineeksi tukee tekstiilikiertotalousmallin mukaista toimintaa. Tämä tekstiiliteollisuuden siirtymä pois hyvin kuluttavasta lineaarisesta toimintamallista kohti ekologisesti kestävämpää kiertotalousmallia on välttämätön. Tällä hetkellä vain noin yksi prosentti tekstiilijätteestä päätyy uusien tekstiilien raaka-aineeksi (Ellen MacArthur Foundation 2017). Laadultaan hyvin vaihteleva tekstiilijäte ei kuitenkaan ole teollisen prosessin raaka-aineena se yksinkertainen. Ennen kierrätystekstiilin regenerointia eli muokkaamista takaisin uusiksi kuiduiksi tulee siitä puhdistaa jatkokäsittelyä haittaavat epäpuhtaudet ja muokata kuidunpituutta. Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu (Xamk) ja Infinited Fiber Company (IFC) ovat yhdessä tutkineet kemiallisen esikäsittelyvaiheen keitto-olosuhteita ja niiden optimointia. Tutkimus on osa New Cotton – Demonstration of New Cotton like circular fiber for textiles in consumerfacing launches -hanketta. Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulusta hankkeessa on mukana Savonlinnan tutkimusyksikkö Kuitulaboratorio, joka keskittyy erityisesti tekstiilijätteen kemiallisen esikäsittelyvaiheen kehitykseen. Hankkeen kesto on 2.10.2020–31.3.2024. New Cotton -hanke on saanut rahoitusta Euroopan unionin Horisontti 2020 -tutkimus- ja innovaatio-ohjelmasta (GA Nro. 101000559).

Regeneroidut kuidut ja kemiallinen esikäsittely

Ekologisesta kestävydestä on tullut olennainen periaate kaikilla toimialoilla. Erityisesti muodissa ja tekstiiliteollisuudessa uudenlaiset regeneroidut tekstiilikuidut ovat merkittävässä osassa yritysten kestävyys- ja kiertotaloustavoitteiden saavuttamisessa. Regenerointi eli kuidun muokkaaminen niin, että siitä voidaan valmistaa uusia tuotteita, mahdollistaa arvokkaiden luonnonvarojen maksimaalisen hyödyntämisen ja vähentää jätteen määrää. Regenerointivaihe käsittää tavallisesti matala-arvoisen,

usein jätteeksi luokiteltavan raaka-aineen käsittelyn liukoiseen muotoon ja muodostuneen polymeeriliuksen käsittelyn uusiksi kuiduiksi erilaisilla kehrumenetelmillä. (Kim 2022.) Erityisesti liuotusvaihe on herkkä erinäisille epäpuhauksille. Prosessin kokonaisekologisuuden sekä taloudellisuuden kannalta on kuitenkin olennaista, että myös esikäsittelyvaiheen prosessiolosuhteet ja kemikaalien kulutus ovat optimaalisia. Tutkimuksen tavoitteena oli kartoittaa tekstiilin esikäsittelyn prosessiolosuhteita ja kemikaaliannoksia vaaditun lopputuloksen saavuttamiseksi laboratoriomittakaavassa.

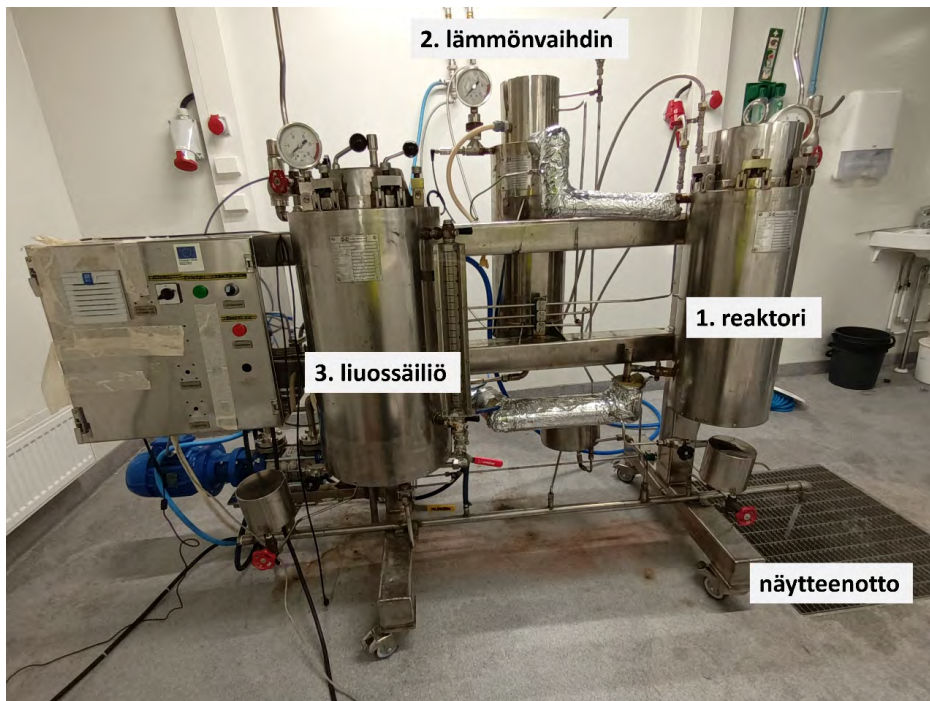
Kyseiset laboratoriomittakaavassa tehdyt kokeet ovat osa laajempaa tekstiilijätteen kemiallisen esikäsittelyvaiheen kehitykseen liittyvää koeajosarjaa. Kuitulaboratorion tutkimusympäristö mahdollistaa tekstiilijätteen prosessoinnin myös suuremmissa pilot-mittakaavassa. Hankkeen yhteydessä Kuitulaboratorion koeajoympäristöön rakennettiin erilaisten materiaalien kemialliseen ja lämpökäsittelyyn soveltuva painereaktori, jonka kokonaistilavuus on 5 m³ ja maksimikäyttöpaine 10 bar. Tällä laitteistolla Kuitulaboratorio on hankkeen aikana kemiallisesti esikäsitellyt tekstiilijätettä yhteensä viisitonnin hankepartnerien käyttöön. Laitteistossa käsitelty tekstiilijäte on valmiiksi lajiteltua ja mekaanisesti esikäsiteltyä, eli siitä on poistettu isommat epäpuhtaudet sekä tekstiiliraaka-aine muokattu prosessilaitteiden, kuten pumppujen, kannalta soveltuvaan kuidunpituuteen ennen Kuitulaboratorioon toimittamista.

Tässä artikkelissa esitellään Kuitulaboratorion ja IFC:n yhteistyössä suorittaman laboratoriomittakaavan kemiallisen esikäsittelyn jälkimmäisen vaiheen prosessiolosuhteita kartoittavan kokeen tutkimuksellista osuutta sekä tuloksia salassapitovelvollisuuden sallimissa rajoissa.

Materiaalit ja menetelmät

Raaka-aineena käytettiin valmiiksi mekaanisesti esikäsiteltyä kuluttajatekstiilijätettä, jonka keskimääräinen kuidunpituus on noin 6 mm. Tekstiiliraaka-aineen kokoomäytteen kuiva-aine lähtötilanteessa on 87 prosenttia, viskositeetti 576 ja epäpuhtauksien eli muun kuin selluloosakuidun pitoisuus kokeessa käytetyssä erässä 5,4 prosenttia. Raakatekstiili kävi läpi kemiallisen esikäsittelyvaiheen ensimmäisen vaiheen Kuitulaboratorion pilot-mittakaavan laitteistossa ennen tässä artikkelissa esiteltävää laboratoriomittakaavan koejärjestelyä. Ensimmäisen prosessivaiheen jälkeen tekstiilijätteen kuiva-aine oli 38 % ja viskositeetti asetetulla tasolla.

Kokeet suoritettiin Kuitulaboratorion laboratoriomittakaavan pakkokiertokeittimellä, joka koostuu kolmesta pääosasta: reaktori, lämmönvaihdin ja liuossäiliö. Pakkokiertokeittimen (kuva 1) reaktorin (1) tilavuus on 10 dm³, lämmönvaihtimen (2) tilavuus 0,6 dm³ ja teho 6 kW sekä liuossäiliön (3) tilavuus 15 dm³ ja teho 3 kW. Reaktorin ja lämmönvaihtimen maksimipaine on 10 bar ja käyttölämpötila-alue 0–200 °C. Kyseisissä koeajoissa liuossäiliötä ei käytetty.



KUVA 1. Pakkokiertokeitin (kuva Noora Haatanen).

Tulokset analysointiin Kuitulaboratorion laboratoriossa taulukon 1 menetelmillä ja laitteistolla.

TAULUKKO 1. Kokeissa käytetyt analyysimenetelmät.

Analysoitava suure	Analyysimenetelmä
Viskositeetti	Viscomat II, ISO 5351-1
Kemikaalipitoisuus	Methrom Titrande -titaattori ja LL Unitrode Pt1000 WOC -elektrodi
pH ja johtokyky	Metler Toledo
Epäpuhtaudet	Ns. "rikkihappopolttomenetelmä" MENETELMÄ NR 7: Tietyt selluloosakuidut ja tietyt muut kuidut 1
COD	NOVA 60 -spektrofotometri ISO 15705
Kuiva-aine	ISO 638
Sakeus	ISO 4119

¹Euroopan parlamentin ja neuvoston asetus (EU) N:o 1007/2011 tekstiilikuitujen nimityksistä ja niitä vastaavista tekstiilituotteiden kuitukoostumuksen selosteista ja merkinnöistä. Liite 8. Tekstiilikuitusekoitteiden kvantitatiivinen analyysimenetelmä nr 7: Tietyt selluloosakuidut ja tietyt muut kuidut. (Eur-Lex, 2011)

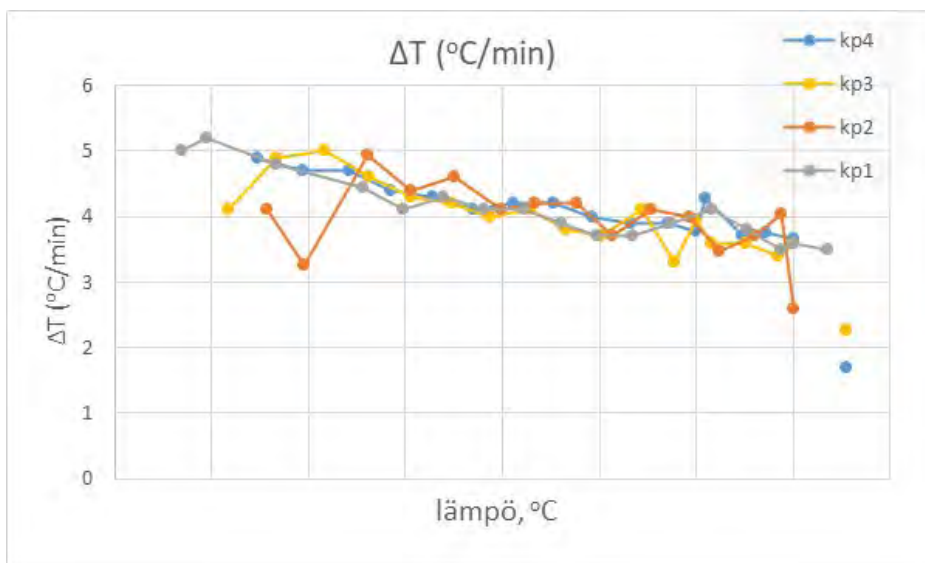
Keitto-olosuhteiden tutkimusvaihe

Kokeiden tarkoituksena on tutkia ja optimoida kemiallisen esikäsitteilyn toisen vaiheen prosessiolosuhteita (kemikaaliannosta, keittolämpötilaa ja käsittelyaikaa). Käsitteilyn tavoitteena on poistaa raaka-aineesta mahdolliset jäljelle jääneet epäpuhtaudet, kuten synteettiset kuidut. Tavoiteltu lopputuote on mahdollisimman puhdasta selluloosaa.

Kokeet suoritetaan Kuitulaboratorion laboratoriomittakaavan keittimellä. Tekstiili ja keittokemikaalit annostellaan suoraan pakkokiertokeittimen reaktoriin yläosan kannen kautta. Kemikaaliannos säädetään koepisteiden mukaan ja sakeus pidetään vakiona kaikissa ajoissa. Sakeustavoitteeksi on asetettu sama kuin ison mittakaavan pilot-koeajoissa käytetty arvo.

Raaka-aineen ja kemikaalien annostelun jälkeen reaktori suljetaan ja tavoitelämpötila asetetaan ohjausyksikköön. Tavoitelämpötilan saavuttaminen kestää koeajosta ja reaktorin esilämmityksestä riippuen noin 15–40 minuuttia. Pakkokierteittimen lämpeneminen oli eri koepisteissä tasaista hidastuen hieman lämpötilan lähestyessä tavoitelämpötilaa (kuva 2).

Reaktorin lämpötila pysyi keiton aikana pääasiassa hyvin tasaisena.



KUVA 2. Pakkokierteittimen lämpeneminen lämpötilan funktiona (kuva Juhana Pakkasmaa).

Käsittelyn aikana otettiin keittolieminäytteet keiton alussa, puolivälissä ja lopussa. Näytekooko pidetään mahdollisimman pienenä, jotta teoreettinen sakeus ei muutu koeajon aikana merkittävästi. Edustava miniminäytekooko on tässä tapauksessa 0,1 dm³. Näyte otetaan jäähdytyskierrolla varustetun näytteenottoyhteen kautta. Näytteenottoputkiston arvioidun tilavuuden mukaan keittoliuosta valutetaan noin 0,1 dm³ ennen näytteenottoa, jotta putkistoon jäänyt edellisen näytepisteen liuos on poistunut. Käsittelyn jälkeen keittoliemi poistetaan ja otetaan talteen reaktorista näytteenottoyhteen kautta painovoimaisesti.

Keittovaihetta seuraa pesuvaihe. Tekstiiliä pestiin reaktorissa johtamalla lämmin-tä vesijohtovettä reaktorin läpi poistoputkesta ulos. Pesun etenemistä mitattiin poistoputken alle sijoitetulla mittarilla, jolla mitattiin reaaliaikaisesti poistuvan pesuveden pH:ta ja johtokykyä. Pesuvaihetta jatkettiin, kunnes pH:n tavoitetaso saavutettiin.

Pesun jälkeen reaktori avattiin ja tyhjennettiin manuaalisesti. Tekstiilistä erottuu tuollaisessa sakeudessa nestefaasi. Tekstiilin väri oli ”vaihtelevan” harmaa, ”pilvinen”. Kun kori saatiin tyhjennettyä, oli sen pohjalla selvästi muuta suspensiota tiiviimpi kaku.

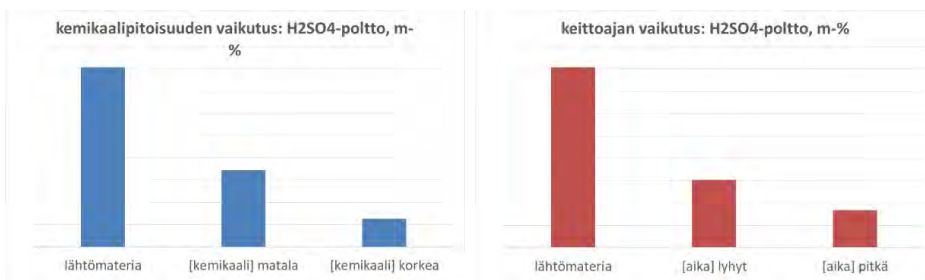
Tulokset

Koesarjan tavoitteena oli selvittää eri keitto-olosuhteiden vaikutusta materiaalin ominaisuuksiin.

Koesarjan tärkeimpänä tavoitteena oli selvittää keitto-olosuhteiden vaikutuksia H₂SO₄-polttojäännökseen. Kuvassa 3 on esitetty olosuhteiden muutosten vaikutusta verrattuna lähtöraaka-aineeseen.

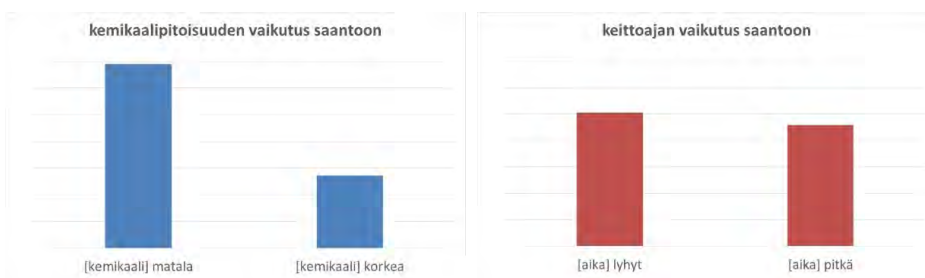
Matalampi kemikaalipitoisuus poisti lähes 60 prosenttia lähtöraaka-aineen epäpuhtauksista. Kemikaalipitoisuuden nosto poisti edelleen noin 60 prosenttia matalamman kemikaalipitoisuuden jäljelle jääneistä epäpuhtauksista.

Lyhyt keittoaika poisti hieman yli 60 prosenttia lähtöraaka-aineen epäpuhtauksista eli hieman enemmän kuin matalampi kemikaalipitoisuus. Keittoajan nostaminen poisti edelleen reilu 40 prosenttia lyhyemmän keittoajan jäljelle jääneistä epäpuhtauksista, mutta jäännös oli noin 30 prosenttia suurempi kuin korkeamman kemikaalipitoisuuden olosuhteissa.



KUVA 3. Kemikaalipitoisuuden ja keittoajan vaikutus H₂SO₄-poltojäännökseen (kuva Juhana Pakkasmaa).

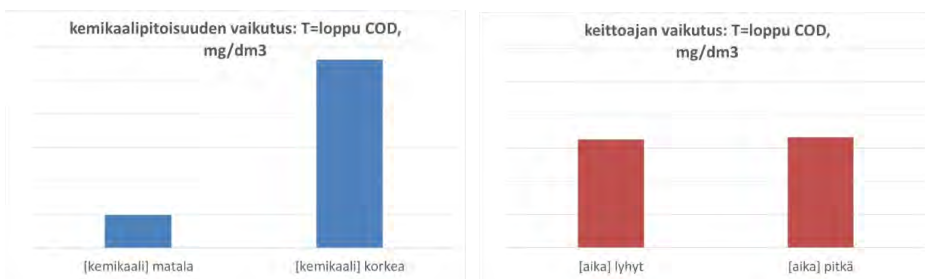
Saanto laskettiin reaktorista puretun tekstiilin punnitustuloksesta. Keittoajalla ei mittaustarkkuuden rajoissa ollut vaikutusta saantoon, mutta kemikaalipitoisuuden nosto laski selvästi (noin 11 prosenttia) saantoa (kuva 4).



KUVA 4. Kemikaalipitoisuuden ja keittoajan vaikutus saantoon (kuva Juhana Pakkasmaa).

Keiton jälkeen talteen otetusta keittoliemestä mitattiin COD-pitoisuus. Kuvassa 5 on esitetty olosuhteiden muutosten vaikutusta.

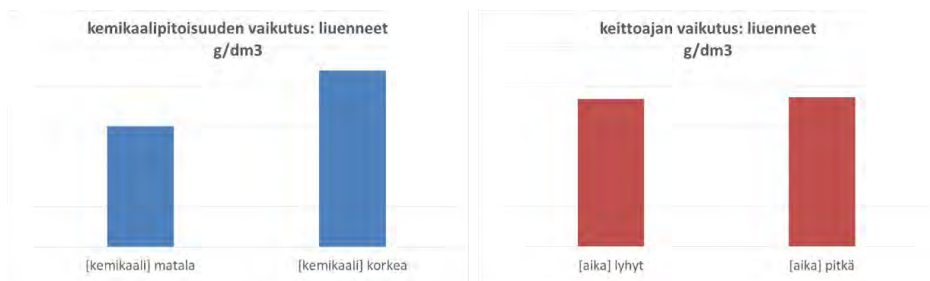
Kemikaalipitoisuuden nosto lisäsi loppukeittoliemen COD-pitoisuutta 11 prosentilla, keittoajalla ei ollut vaikutusta.



KUVA 5. Kemikaalipitoisuuden ja keittoajan vaikutus keiton lopussa talteen otetun keittoliemen COD-pitoisuuteen.

Keiton jälkeen talteen otetusta keittoliemestä määritettiin myös liuennut kiintoaine. Tulokset on esitetty kuvassa 6.

Kemikaalipitoisuuden nosto lisäsi loppukeittoliemen liunneen aineen määrää yli 45 prosenttia, kun toisaalta keittoajalla ei ollut vaikutusta. Pitkän keittoajan liuenut kiintoaine oli noin 15 prosenttia pienempi kuin korkeamman kemikaalipitoisuuden.



KUVA 6. Kemikaalipitoisuuden ja keittoajan vaikutus keiton lopussa talteen otetun keittoliemen liunneeseen kiintoaineeseen (kuva Juhana Pakkasmaa).

Keiton jälkeen talteen otetun keittoliemen johtokyky oli korkeammalla kemikaalipitoisuudella 67 prosenttia korkeampi kuin matalalla kemikaalipitoisuudella (kuva 7). Keittoajan noston negatiivinen vaikutus oli vain muutama prosentti.

Pitkän keittoajan keittoliemen johtokyky oli 30 prosenttia pienempi kuin korkeamman kemikaalipitoisuuden.



KUVA 7. Kemikaalipitoisuuden ja keittoajan vaikutus keiton lopussa talteen otetun keittoliemen johtokykyyn (kuva Juhana Pakkasmaa).

Johtopäätökset

Kokeiden perusteella voidaan todeta, että pakkokiertokeittimellä on mahdollista tutkia keitto-olosuhteita. Pakkokiertokeittimen prosessi on erilainen kuin Kuitulaboratorion pilot-mittakaavan käsittely, mutta tulokset ovat kuitenkin verrattain linjassa Kuitulaboratorion pilot-mittakaavan koeajojen kanssa. Jatkossa koeajoja voidaan laajentaa uusilla raaka-aineilla sekä keitto-olosuhteilla ja kemikaaleilla.

Tämä koesarja oli verraten suppea (n = pieni), joten tulosten tilastollisen luotettavuuden parantamiseksi ja olosuhteiden muutosten yhdysvaikutusten laskemiseksi rinnakkaisia koepisteitä tulisi tehdä enemmän.

LÄHTEET

Eur-Lex, 2011. Euroopan parlamentin ja neuvoston asetus (EU) N:o 1007/2011 tekstiilikuitujen nimityksistä ja niitä vastaavista tekstiilituotteiden kuitukoostumuksen selosteista ja merkinnöistä. Saatavissa: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/TXT/HTML/?uri=CELEX:02011R1007-20180215#toclId2> [viitattu 13.10.2023]

Ellen MacArthur Foundation. 2017. UN Alliance for Sustainable Fashion. Report. Saatavilla: https://www.circularonline.co.uk/wp-content/uploads/2017/11/A-New-Textiles-Economy_Full-Report.pdf [viitattu 13.10.2023]

Kim, T., Kim, D. & Park, Y. 2022. Recent progress in regenerated fibers for “green” textile products. *Journal of Cleaner Production* 376, 134226. Saatavilla: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652622037982> [viitattu 13.10.2023]

LSJH, Lounais-Suomen Jätehuolto Oy. Poistotekstiilin perehdytyspaketti. Saatavilla: <https://poistotekstiili.lsjh.fi/2022/03/02/poistotekstiilin-perehdytyspaketti-jatelaitekseille/> [viitattu 13.10.2023]

NMR-MENETELMÄÄN PERUSTUVA UUSI MITTAUSJÄRJESTELMÄ LIKKUVIEN VIILULEVYJEN MITTAAMISEEN

Jere Järvenpää & Ekaterina Nikolskaya & Jyrki Pesonen
& Yrjö Hiltunen

Suuri osa puutuotteista on liimattuja tuotteita, kuten vaneri, LVL ja muut liimatut puukomposiittirakenteet. Uusia liimoja ja ratkaisuja kehitetään jatkuvasti, mutta kehitystä hidastaa puute puun ja uusien liimojen vuorovaikutuksesta. Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulun Kuitulaboratoriossa kesällä 2023 alkaneen hankkeen ”VIIMA – Innovatiivisten viilutuotteiden Online mittaukset ja mallinnukset” tavoitteena on kehittää liimattavien insinööripuutuotteiden mittaus- ja analysointitekniikoita alan teollisuuden yhteistyönä. Kehitettävät mittausmenetelmät parantavat ymmärrystä puumateriaalin ja puutuotteiden lujuuden sekä liimausten vuorovaikutuksista hyödyntäen sekä teollisia että tutkimusmittauksia. Tiedetään, että puun raaka-aineiden ominaisuudet ja puun työstö vaikuttavat tuotteiden laatuun.

Tässä artikkelissa keskitytään VIIMA-hankkeen yhteen työpakettiin, jossa rakennetaan uutta mittausjärjestelmää. Rakenteilla olevalla mittausjärjestelmällä voidaan tutkia liikkuvien viilujen mittausta NMR:llä.

Tavoitteena on jatkossa tehdä mittauksia tehdasympäristössä ja lopuksi liittää järjestelmä yhdeksi viilun perustutkimusmenetelmäksi prosessiin. Hankkeen päärahoittaja on Etelä-Savon maakuntaliitto Euroopan unionin aluekehitysrahastosta ohjelman ”Uudistuva ja osaava Suomi 2021–2027” kautta. Hanke toteutetaan ajalla 08/2023–07/2025.

Puurakentaminen ja uudet mittausmenetelmät

Puurakentaminen ja puun käyttö rakentamisessa, kuljetusvälineissä ja ilmailussa yleistyvät. Vaikka viilupohjaisia tuotteita käytetään jo laajalti, kilpailu alalla kiristyy jatkuvasti. Menestyäkseen kansainvälisessä kilpailussa tarvitaan innovatiivisia ja korkealaatuisia jatkojalostettuja puutuotteita. Eräiden viilun ominaisuuksien tutkiminen tuotantovaiheessa on hidasta suhteessa tuotantovolyymiin, joten uusille ja

tehokkaille mittaussmenetelmille on tarve. Validointi viulun valmistuksessa parantaa tuottavuutta sekä valmistettavan tuotteen laatua.

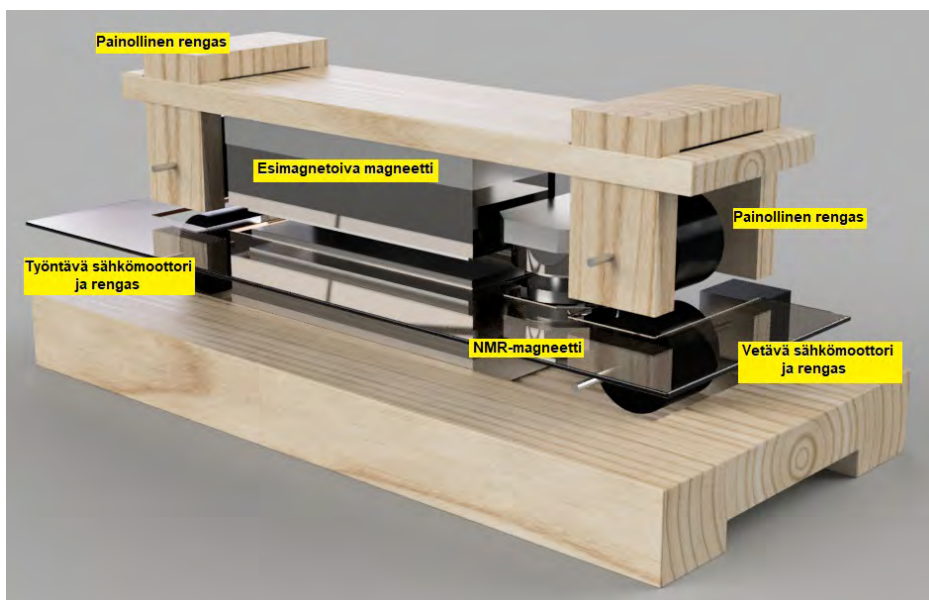
Ydinmagneettinen resonanssispektroskopia eli NMR on analyttisen kemian tekniikka, jota käytetään molekyylin rakenteen ja atomien ympärille liittyvän kemiallisen ympäristön tutkimiseen. Menetelmällä saadaan tietoa puun rakenteesta ilman, että tutkittava näyte rikotaan tai vaikutetaan sen ominaisuuksiin (Bucur 2003, 215). Tämän vuoksi menetelmä sopii hyvin online-mittauksiin. Tässä tutkimuksessa sovelletaan TD-¹H-NMR-menetelmää, jolla saadaan tietoa veden jakautumisesta puun rakenteessa (Cai ym. 2020). Tiedetään, että veden jakautuminen puun eri osiin vaikuttaa prosessointiin ja kestävyys (Gezici-Koc ym. 2017, 536). Erityisesti kiinnostuksen kohteena tässä tutkimuksessa on selvittää, miten veden jakautuminen vaikuttaa puumateriaalin lujuusominaisuuksiin.

Mittausjärjestelmän toimintaperiaate

Rakennetun prototyypin käyttötarkoitus on simuloida tilannetta, jossa valmiille viilulle tehdään NMR-spektroskopia online-ympäristössä. Ensimmäisen vaiheen prototyypillä tehdään kokeita viiluilla, jotka on leikattu kapeaksi, noin 150 mm:n levyisiksi. Käytännössä prototyyppi siirtää viilua kahden kestromagneetin magneetikentän läpi: toinen magneeteista on esimagnetointia varten ja toinen sisältää mittausinstrumentin. Liikkuvalla näytteelle on ensin suoritettava esimagnetointi spektrometrin toimintaa varten. Perinteisessä NMR-tutkimuksessa näyte pysyy paikallaan magneetikentässä, jolloin veden protonien magnetoitumavektorit asettuvat oikeaan asentoon mittauksia varten. Koska magnetoituminen on aika-riippuvainen kvanttimekaaninen ilmiö, liikkuvan näytteen tapauksessa tarvitaan ajallisesti riittävä esimagnetointi, jotta magnetoituminen ehtii tapahtua näytteen liikkuaessa. Lisäksi näytteen on oltava tarpeeksi kauan mittausmagneetissa, jotta mittaukset voidaan suorittaa. Nämä ovat haasteita liikkuvan näytteen NMR-mittauksissa, mutta ne voidaan korjata matemaattisilla malleilla.

Mittausjärjestelmän prototyyppi

Prototyypin ensimmäisen version materiaaliksi valittiin puu helpon ja nopean työstämisen vuoksi. Prototyypistä tehtiin 3D-malli Fusion360-ohjelmalla suunnittelun tueksi. Suunnitelma on esitetty kuvassa 1.

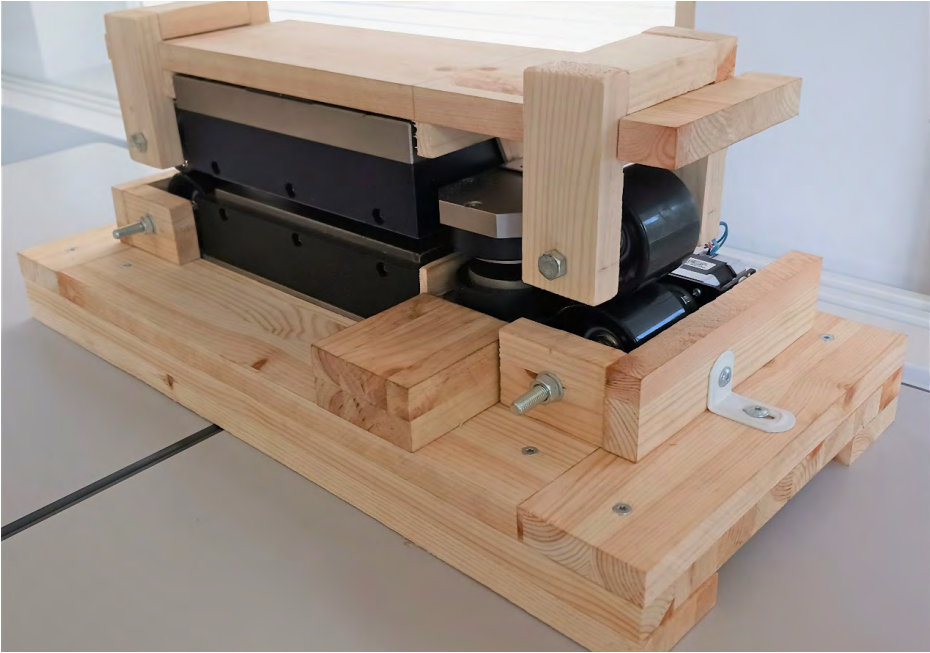


KUVA 1. 3D-malli mittausjärjestelmän ensimmäisestä suunnitelmasta (kuva Jere Järvenpää 2023).

Kuvassa 1 on kuvattu, kuinka viilu kulkee esimagnetoivan ja NMR-magneetin läpi kuvaan merkittyjen punaisten nuolien suuntaisesti. Keltaisella taustalla on merkitty prototyypin eri komponentteja. Viilua liikuttaa kaksi sähkömoottoria renkaiden välityksellä, ja nämä on merkitty kuvaan ”vetävä ja työntävä sähkömoottori ja rengas”. Jotta viilu pysyy paikallaan ja linjassa, moottoroitujen renkaiden yläpuolella on painolliset renkaat, jolloin viilu puristuu renkaiden väliin.

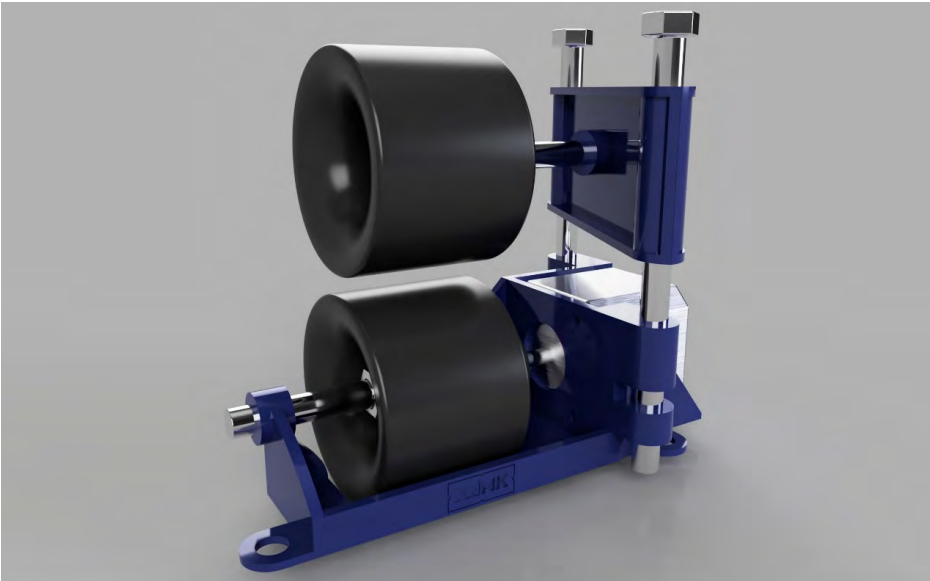
Mittausjärjestelmän prototyypissä käytetään kahta Xiamen Dexing Magnet Tech. Co., Ltd:n (Xiamen, Kiina) erikoisvalmistamaa NMR-spektroskopiaan soveltuvaa kestmagneettia. Esimagnetoinnissa käytetään malliin NMR20050-05 perustuvaa noin 700 mT:n kestmagneettia. Pienempi magneetti, johon asetetaan mittauskeila, perustuu malliin NMR5010-06. Pienemmän magneetin magneettikentän tiheys on homogeenisempi, ja se on noin 550 mT. Mittausmagneetin homogeenisyys on olennainen osa NMR-spektrometrian tarkkuuden kannalta.

Järjestelmässä viulun siirrosta vastaa kaksi Pololun (Las Vegas, Yhdysvallat) valmistamaa NEMA 17 -kokoluokan askelmoottoria. Askelmoottorien nopeus on erittäin tarkkaan säädettävissä, mikä on oleellista liikkeessä tehtävän NMR-spektroskopian kannalta. Nopeuden säätämisen avulla voimme tutkia, miten NMR-tutkimukset toimivat eri nopeuksilla. Kuvassa 2 on esitetty ensimmäinen versio prototyypistä.



KUVA 2. Prototyypin ensimmäinen versio, jolla saatiin ajettua kapeita viiluja magneettien läpi (kuva Jere Järvenpää 2023).

Prototyyppi suunniteltiin lähtökohtaisesti modulaariseksi, jotta sitä voidaan kehittää askel kerrallaan. Erikoisosien saatavuuden vuoksi osat oli käytännöllisintä mallintaa ja 3D-tulostuttaa. 3D-tulostaminen tehtiin yhteistyössä Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulun 3K-elektroniikkatehtaan kanssa. Kuvassa 3 on esitetty sähkömoottorin ja renkaiden yhdistelmän 3D-malli.



KUVA 3. Viilun liikuttamisesta vastaava moottorin ja renkaiden järjestelmä (kuva Jere Järvenpää 2023).

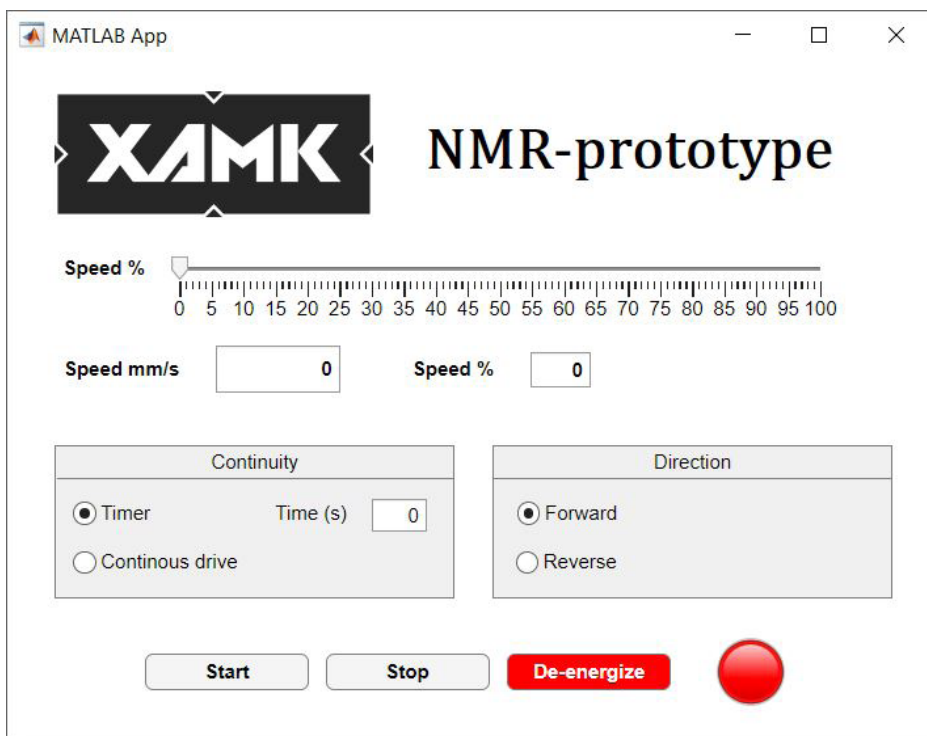
Kuvan 3 moottori tuottaa vedon alempaan renkaaseen ja ylempi rengas pääsee laskeutumaan vapaasti alemman päälle liukuputkia pitkin. Liukuputkiin voidaan lisäksi laittaa jouset puristusvoiman lisäämiseksi. Järjestelmän toiselle puolelle käytettiin tämän mallin peilikuvaa.

3D-tulostetut osat parantavat prototyypin käyttövarmuutta ja tarkkuutta. Seuraavaksi mittausjärjestelmän prototyyppiin integroidaan NMR-spektrometri. NMR-spektrometrin instrumenttina toimii pintakela, joka asettuu mittausmagneetin alatasolle. Kuvassa 4 on esitetty mittausjärjestelmän prototyyppi, kun siihen on liitetty kuvan 3 osat.



KUVA 4. Mittausjärjestelmän prototyypin viulun liikutusjärjestelmä on korvattu 3D-tulostetuilla osilla (kuva Jere Järvenpää 2023).

Moottoreita ja viulun liikettä ohjataan Pololun Tic-sarjan ohjausyksiköllä. Tic-sarjan ohjainyksiköitä voidaan käyttää tietokoneelta micro-USB-kaapelin välityksellä. Lisäksi ohjainyksikön toimintaa voidaan ohjelmoida eri ohjelmistoympäristöissä. Jotta viiluja voidaan liikuttaa tarkalla nopeudella, ohjelmoitiin ohjainyksikköön Matlab-ohjelmalla helppokäyttöinen käyttöliittymä. Käyttöliittymää voidaan jatkokokehittää esittämään myös mittauksia. Käyttöliittymän näkymä on esitetty kuvassa 5. Teoriassa prototyypillä voidaan asettaa viilu kulkemaan teollisuuden online-nopeuksilla.



KUVA 5. Mittausjärjestelmän käyttöliittymä (kuva Jere Järvenpää 2023).

Kuvan 5 mittausjärjestelmän käyttöliittymän avulla käyttäjä voi asettaa viulun liikutusnopeuden millimetreinä sekunnissa tai prosentuaalisesti. Sadan prosentin nopeutta voidaan vaihtaa tarvittaessa. Moottorien vedon voi asettaa jatkuvaksi tai ajastetuksi kohdasta "Continuity" ja vetosuunnan voi valita kohdasta "Direction". Ohjelmaa ajetaan asettamalla parametrit ja painalla "Start". Tällöin oikealla oleva punainen pallo muuttuu vihreäksi, kun moottorit ovat käynnissä. Lisäksi käyttäjä voi pysäyttää moottorit painikkeella "Stop" ja katkaista moottoreista virran painikkeella "De-energize".

3D-mallintaminen ja -tulostaminen on osoittanut, että mittauslaitteita voidaan helposti rakentaa, kun niihin yhdistetään olemassa olevia mittalaitteita ja komponentteja. Mittausjärjestelmän prototyyppi vaikuttaa erittäin lupaavalta laitteelta liikkuvan TD-¹H-NMR-spektroskopian soveltamisessa viulun rakenteen tutkimisessa. Seuraavaksi järjestelmään integroidaan NMR-mittausjärjestelmä, minkä jälkeen päästään testaamaan liikkeen vaikutusta mittaustuloksiin.

LÄHTEET

Bucur, V. 2003. *Nondestructive Characterization and Imaging of Wood*. Springer: Berlin: Springer.

Cai C., Zhou, F. & Cai, J. 2020. Bound Water Content and Pore Size Distribution of Thermally Modified Wood Studied by NMR. *Forests* 11(12):1279. Saatavissa: <https://doi.org/10.3390/f11121279> [viitattu 29.9.2023]

Gezici-Koc, Ö., Erich, S., Huinink, H., van der Ven, L. & Adan, O. 2017. Bound and free water distribution in wood during water uptake and drying as measured by 1D magnetic resonance imaging. *Cellulose* 24, 535-553. Saatavissa: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10570-016-1173-x> [viitattu 29.9.2023]

TEOLLISEN PUURAKENTAMISEN LABORATORION TUTKIMUSYMPÄRISTÖ SAVONLINNASSA – TESTITALOT TKI-ALUSTANA

Anti Rohumaa & Lasse Pulkkinen

Rakennetulla ympäristöllä on ratkaiseva rooli ilmastonmuutoksen torjunnassa. Tämä johtuu siitä, että rakentaminen kuluttaa suuren osan maapallon raaka-aineista ja vie merkittävän osuuden energiasta. Tämä energiankulutus aiheuttaa huomattavan osan päästöistä. Siksi rakennetussa ympäristössä on suuri mahdollisuus saavuttaa energiansäästöä ja vähentää ympäristövaikutuksia.

Kestävä rakentaminen ja ympäristöystävälliset, vähähiiliset ratkaisut ovat avainasemassa ilmastonmuutoksen torjunnassa. Tämä edellyttää materiaalien ja rakentamisen kiertotalouden edistämistä sekä innovatiivisia, pitkäikäisiä ja vähähuoltoisia rakennusratkaisuja. Tutkimus ja kehitys ovat keskeisiä tekijöitä tällaisten ratkaisujen kehittämisessä.

Teollinen puu- ja hybridirakentaminen on yksi lupaava vaihtoehto, ja se on saanut vahvaa tukea Xamkissa. Syksyllä valmistuu Savonlinnaan teollisen puurakentamisen laboratorio, jossa painopiste keskittyy kestävien ja materiaalitehokkaiden rakennusratkaisujen kehittämiseen. Laboratoriossa tutkitaan erityisesti suurten rakennuselementtien ja liitosten suorituskykyä. Lisäksi laboratorion yhteyteen on toteutettu testikenttä, johon on pystytetty testirakennuksia erilaisia kenttätutkimuksia varten.

On huomattu, että kaikkien rakennusalan haasteiden kattava tutkiminen ja mallintaminen ei ole mahdollista pelkissä laboratorio-olosuhteissa (Prignon ym. 2017). Siksi tarvitaan täysimittaisia testirakennuksia. Esimerkiksi rakennusten ja liitosten ilmatiiveydellä on merkittävä rooli sekä energiatehokkuuden että kosteudenhallinnan näkökulmasta (Jokisalo ym. 2009, Kalamees & Kurnitski 2010). Tämä vaikuttaa myös rakennuksen kosteuskäyttäytymisen mallintamiseen (Kalamees ym. 2010). Koska vastaavia täysimittaisia ja monimutkaisia liitoksia ei voida luoda tehdasolosuhteissa, täytyy näitä ilmiöitä tutkia luotettavasti täysimittaisissa testirakennuksissa, joissa kaikki liitokset on suunniteltu huolellisesti tarkasteltavien ilmiöiden tutkimiseksi. Erityisesti puurunkorakenteiden liitokset ovat haastavia, koska ne

voivat muodostaa monimutkaisia epäjatkuvuuskohtia kuormien siirtymiselle perustuksiin. Samalla puuelementtien ja liitosten kosteuskäyttäytyminen ja tiiviys riippuvat ympäristöolosuhteista, kuten lämpötilasta ja kosteudesta, mikä tekee näiden ilmiöiden tutkimisesta laboratorio-olosuhteissa haasteellista.

Puu- ja hybridirakenteiden liitosten tiiveys ja kosteuskäyttäytyminen

Syksyllä 2021 Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulussa käynnistettiin PUUTI-KO-hanke, jota rahoittavat Etelä-Savon maakuntaliitto (Kestävää kasvua ja työtä 2014–2020 Suomen rakennerahasto-ohjelma TL 8 REACT – EU:n EAKR-toimenpiteet) ja rakennusalan toimijat. Tämän tutkimushankkeen päämääränä oli rakentaa testirakennus Savonlinnan teknologiapuistoon. Testirakennus valmistui syksyllä 2023 ja sen avulla tutkitaan erilaisten puu- ja hybridirakenteiden liitosten tiiviyt-
tä ja kosteuskäyttäytymistä todellisissa kenttäolosuhteissa. Tavoitteena on myös simuloida erilaisia ääriolosuhteita ja seurata ilmanlaatua rakennuksessa sen rakentamisen ja käytön aikana.

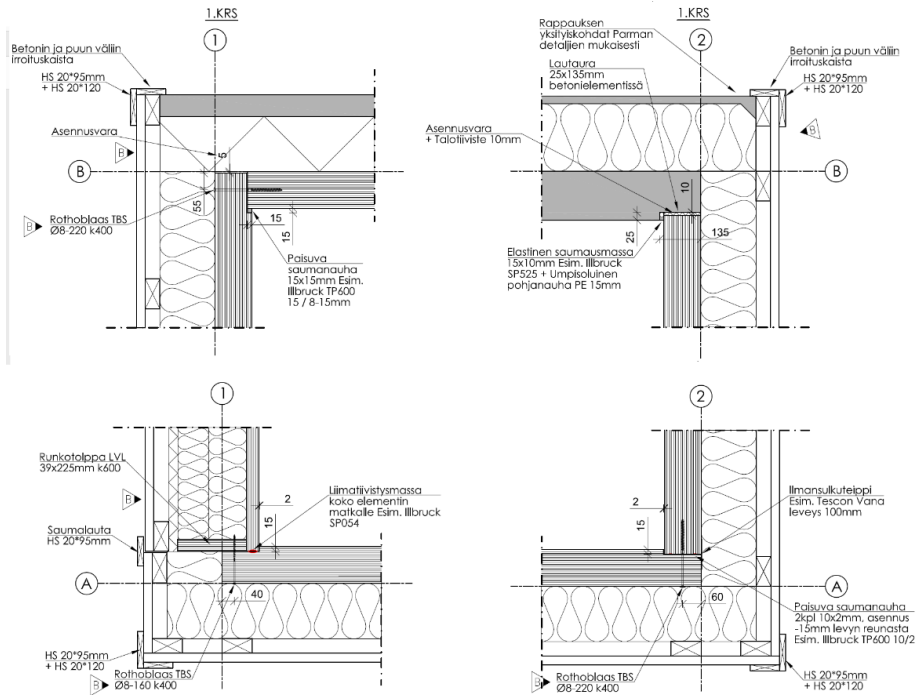
Testirakennuksen ala-, väli- ja yläpohjaelementit valmistettiin ristiin liimatuista puulevyistä (CLT). Testirakennuksen ensimmäisen kerroksen ulkoseinät rakennettiin viilupuulevyistä (LVL) sekä LVL–betoni-hybridielementeistä, joissa oli tehtaalta valmiina asennetut anturit, jotka seurasivat elementtien kosteus- ja lämpötilakäyttäytymistä. Testirakennuksen toisen kerroksen ulkoseinäelementit valmistettiin CLT-levystä. Vesikattorakenne toteutettiin kantavan CLT-rungon päälle LVL-levyistä ja -palkeista valmistetuista kattoelementeistä. Rakennukseen asennettiin yhteensä 14 ikkunaa ja kaksi ovea.



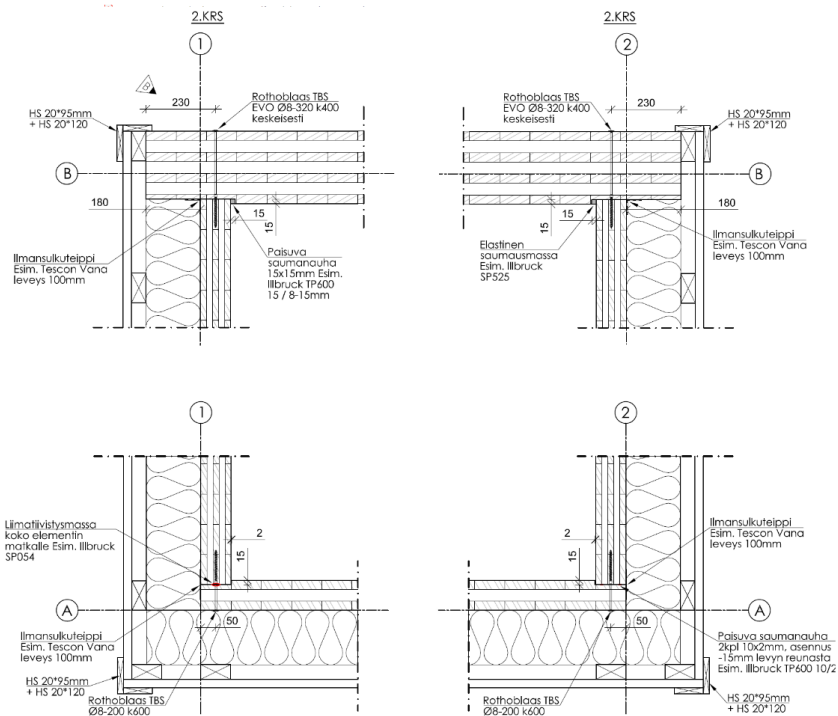
KUVA 1. Testirakennus Savonlinnan teknologiapuistossa osana Xamkin Teollisen puurakentamisen laboratorion kokonaisuutta (kuva Anti Rohumaa).

Testirakennuksen nurkkaliitokset

Testirakennuksessa on käytetty monia liitoksia, joista ensimmäisen ja toisen kerroksen nurkkaliitokset on esitetty kuvissa 2 ja 3. Ensimmäisen kerroksen elementit on valmistettu betoni-, LVL- ja LVL-hybridi-elementeistä, kun taas toisen kerroksen elementit on valmistettu CLT-elementeistä.



KUVA 2. Testirakennuksen ensimmäisen kerroksen nurkkaliitokset (kuva Anti Rohumaa).



KUVA 3. Testirakennuksen toisen kerroksen nurkkaliitokset (kuva Anti Rohumaa).

Testirakennuksessa käytettävät anturit ja tutkimusmenetelmät

Testirakennus on varustettu moderneilla antureilla, jotka on sijoitettu rakenteiden ja elementtien sisälle. Testirakennuksessa käytettävät anturit voidaan jakaa kolmeen kategoriaan. Ensimmäiseen tasoon kuuluvat Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulun 3K-elektroniikkatehtaalla valmistetut lämpötilan (T) ja kosteuden (RH) mittausanturit (yhteensä 160 kpl). Toiseen tasoon sisältyvät kaupallisesti saatavilla olevat etäluettavat anturit, jotka hyödyntävät LoRaWAN (Low Power Wide Area Networking) -verkkoa. Kolmas taso koostuu uusista ja kehitteillä olevista anturiratkaisuista, jotka asennetaan myöhemmin testirakennukseen sen käytön aikana. Mittausdatan keräämistä ja analyysia varten on rakennettu nykyaikainen tiedonkeruu- ja käsittelyjärjestelmä.

Xamkin 3K-elektroniikkatehtaan valmistamat T/RH-anturit asennettiin eri kohtiin testirakennuksessa, mukaan lukien liitoksiin, seinärakenteiden eri kerroksiin (kuten elementtien pintaan ja sisään, höyröyksen alle ja päälle, villatilaan sekä tuuletusrakoon). Nämä anturit muodostavat perusanturiverkon, jota hyödynnetään liitosten ja elementtien tutkimisessa sekä uusien anturien kehityksessä.

TAULUKKO 1. Testirakennuksessa käytettävät anturit.

Anturit	Mitattavat parametrit	Lukumäärä (kpl)
IOTSU® L3 DP01	Paine-ero	10
IOTSU® Rugged AQ09	PM2.5 ja PM10, CO ₂ , TVOC, lämpötila, ilman-kosteus	3
Elsys ELT-2-HP	Sisäänrakennetut sensorit lämpötilan ja suhteellisen ilmankosteuden mittaamiseen	12
Elsys EMS	Sensori oven asennon, lämpötilan, kosteuden ja kiihtyvyyden mittaamiseen	3
Milesight AM319 HCHO	Laite mittaa lämpötilaa, kosteutta, valaistusta, ilmanpainetta sekä hiilidioksidin, formaldehydin ja ylimääräisten yhdisteiden (TVOC) ja pienhiukkasten määrää ja havaitsee liikkeen PIR-sensorilla	1
Milesight EM 300-TH	Säänkestävä lämpötila- ja kosteusmittari	1
Wiiste SH1	Betonin kosteuden ja lämpötilan mittaus	10
Wiiste WM1-WAN	Puun kosteusmittari	5
3K anturit	RH ja lämpötila	160

Rakenteiden ja liitosten toimivuuden monitoroinnissa hyödynnetään monia menetelmiä sen koko elinkaaren aikana, mukaan lukien lämpökameratekniikkaa sekä ilmatiiveys- ja emissiomittauksia.

Tulevaisuuden materiaalitutkimusta ja teollisuusyhteistyötä

Testitalot muodostavat merkittävän lisän Xamkin teollisen puurakentamisen tutkimusinfrastruktuurille Savonlinnan teknologiapuistossa. PUUTIKO-hankkeessa ja siten testitalokonseptin ideoinnissa, toteutuksessa ja tulosten hyödyntämisessä on mukana useita alan kärkiyrityksiä Etelä-Savosta ja laajemmin Suomesta. Testitalokonsepti on herättänyt myös merkittävää kansainvälistä kiinnostusta.

Rakentamisen ympäristötehokkuuden, materiaalien energiatehokkuuden sekä hiilen sidonnan parantaminen tulevat olemaan pitkään jatkuva trendi rakennusklusterin kehityksessä sekä Suomessa että kansainvälisesti. Massiivipuurakenteiden, CLT:n, LVL:n ja erilaisten yhdistemateriaalien ja niiden kosteus- ja tiiveyskäyttäytymisen lisäksi testitalokonsepti tarjoaa mahdollisuuden myös muuhun alan kannalta tärkeään soveltavaan tutkimukseen. Esimerkiksi luonnonmateriaalien käyttöön rakentamisessa erilaisissa eristeissä ja levymateriaaleissa on kasvavaa mielenkiintoa. Näistä lähtökohdista PUUTIKO-testitaloa aiotaan hyödyntää myös kokonaan uusien biopohjaisten rakennusmateriaalien tutkimusalustana lisäksi kansainvälisissä tutkimushankkeissa.

LÄHTEET

Jokisalo, J., Kurnitski, J., Korpi, M., Kalamees, T. & Vinha, J. 2009. Building leakage, infiltration, and energy performance analyses for Finnish detached houses. *Building and Environment*, 44(2), 377–387. Saatavissa: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2008.03.014>

Kalamees, T. & Kurnitski, J. 2010. Moisture convection performance of external walls and roofs. *Journal of Building Physics*, 33(3), 225–247. Saatavissa: <https://doi.org/10.1177/1744259109343502>

Kalamees, T., Kurnitski, J., Jokisalo, J., Eskola, L., Jokiranta, K. & Vinha, J. 2010. Measured and simulated air pressure conditions in Finnish residential buildings. *Building Services Engineering Research and Technology*, 31(2), 177–190. Saatavissa: <https://doi.org/10.1177/0143624410363655>

Prignon, M. & Van Moeseke, G. 2017. Factors influencing airtightness and airtightness predictive models: A literature review. *Energy and Buildings*, 146, 87–97. Saatavissa: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.04.062>

MASSIIVIPUURAKENTEISEN PROSESSIVALVOMON SUUNNITTELU JA TOTEUTUS

Aarno Hatsala & Niko Kinnunen & Fanny Malmstedt

Massiivipuurakenteinen prosessivalvomo -hankkeella tuotettiin uudenlainen massiivipuusta valmistettu prosessivalvomo. Ideana oli suunnitella ja toteuttaa muuntojoustava, siirreltävä sekä vähähiilinen valvontatila. Valvomon rungon materiaaleina käytettiin CLT-elementtejä. Valvomo ideoitiin ja visioitiin Archicad- ja Archiframe-suunnitteluohjelmilla, minkä jälkeen rakenteiden lujuus tarkastettiin. Elementtien liitokset suunniteltiin toteutettaviksi huulloksilla, koska tavoitteena oli löytää mahdollisimman optimoidut ja helposti rakennettavat liitosratkaisut. Tämän jälkeen toteutettiin lopulliset työkuvat CLT-elementtivalmistajalle, joka valmisti CLT-elementit.

Massiivipuurakenteinen prosessivalvomo -hanke

Massiivipuurakenteinen prosessivalvomo -hankkeen budjetin rahoitus koostui Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulun ja Savonlinnan kaupungin osuuksista. Hankkeen budjetti sisälsi valvomoon tarvittavat materiaalit ja varusteet. Lisäksi osa budjetista kohdistui tutkimusapulaisten palkkoihin. Valvomon kokoonpano ja asennukset Xamkin Teollisen puurakentamisen laboratorion testaushalliin toteutettiin yhteistyössä laboratoriotyömaan pääurakoitsijan ja hankkeen henkilöstön kanssa elo–syyskuun 2023 aikana. Valvomosta käsin tullaan hallitsemaan suurta Loadframe-kuormituskehää turvallisesti. Kuormituskehällä voidaan kuormittaa noin merikontin kokoisia kappaleita dynaamisilla ja staattisilla veto-, puristus- ja leikkausrasituksilla.



KUVA 1. Valvomon 3D-malli testaushallissa (kuva Aarno Hatsala).

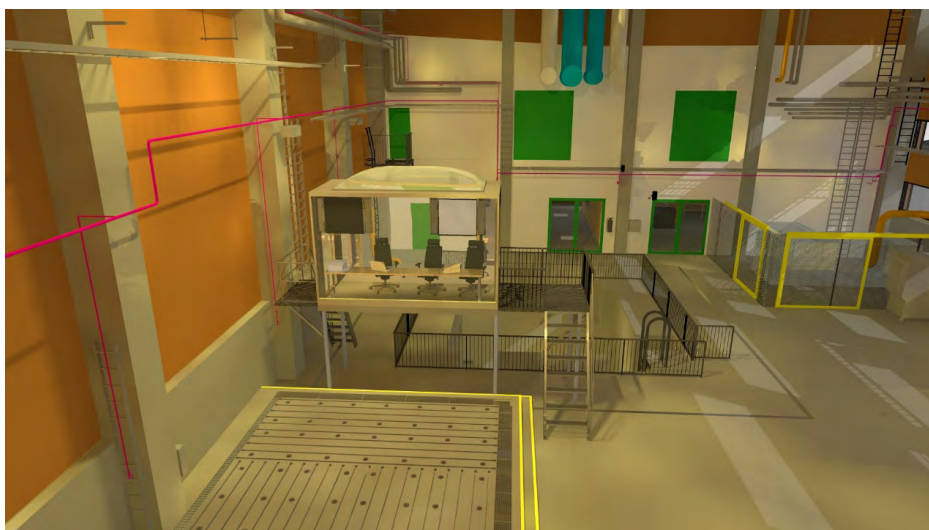


KUVA 2. Lähes valmis valvomo paikoillaan (kuva Aarno Hatsala).

Luonnossuunnitelmista toteutussuunnitelmiin

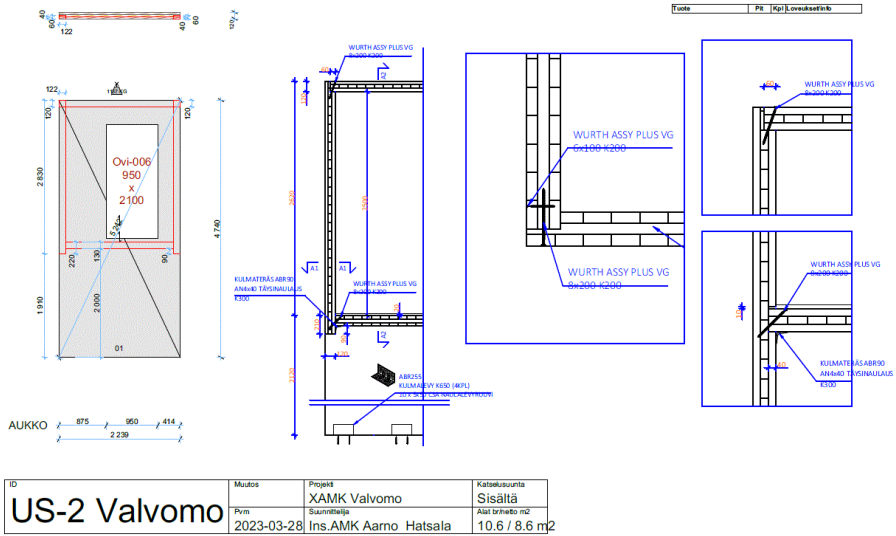
Hankkeen ideointi käynnistyi joulukuussa 2022 kysymyksestä, voisiko prosessivalvomon rakentaa puusta perinteisen teräksen sijaan. Ideointia jatkettiin visioimalla valvomon 3D-malli Archicad-ohjelmistolla. Ensimmäisten luonnossuunnitelmien jälkeen saatiin näkemys, kuinka suunnitella mittasuhteiltaan ja käytettävyydeltään toimivin prosessivalvomokokonaisuus. Lisäksi tarkoituksena oli tehdä valvomosta muuntojoustava, eli valvomoa on mahdollista siirtää tarpeen mukaan ja käyttää eri suunnista. Tavoitteena oli luoda mahdollisimman vähähiilinen ratkaisu, jossa hyödynnetään moderneja ja innovatiivisia liitosratkaisuja sekä insinööripuutuotteita. Täten päädyimme valitsemaan runkomateriaaliksi CLT-elementit (CLT = cross-laminated timber, ristiinliimattu puu).

Ensimmäiset luonnosversiot käsittivät erilaisia variaatioita valvomon koon ja toimivuuden suhteen. Tarkasteltiin, kuinka valvomon sisätilaan mahdutetaan tarvittavat laitteet ja toimistokalusteet, sekä varmistettiin mahdollisimman hyvä näkyvyys valvomosta testaushallin alueille.



KUVA 3. Ensimmäinen luonnosversio isoilla ikkunoilla, kahdella sisäänkäynnillä ja lasikatolla (kuva Aarno Hatsala).

Lopulliseen versioon päästiin tekemällä valvomon luonnostyökuvat Archiframe-ohjelmalla. Ohjelmalla hahmoteltiin elementtien koot, liitokset sekä mahdolliset kiinnikkeet. Varsinainen rakennesuunnittelu tilattiin IFC-mallin pohjalta ja lujuuslaskennan valmistuttua malliin muokattiin lopulliset rakennepaksuudet. Esimerkiksi valvomon pitkien seinien alaosaan lisättiin 90 mm rakennekorkeutta alapohjan alapuolelle.



KUVA 4. Archiframe-ohjelmalla luotu US-2-työkuva sekä rakennedetailit (kuva Aarno Hatsala).

Rakennesuunnittelussa päätettiin myös elementtien lopulliset liitosratkaisut. CLT-elementtien liitoksissa päädyttiin käyttämään erisyyvisiä huullosliittymiä, ruuvauksia sekä perinteisiä kulmarautoja.

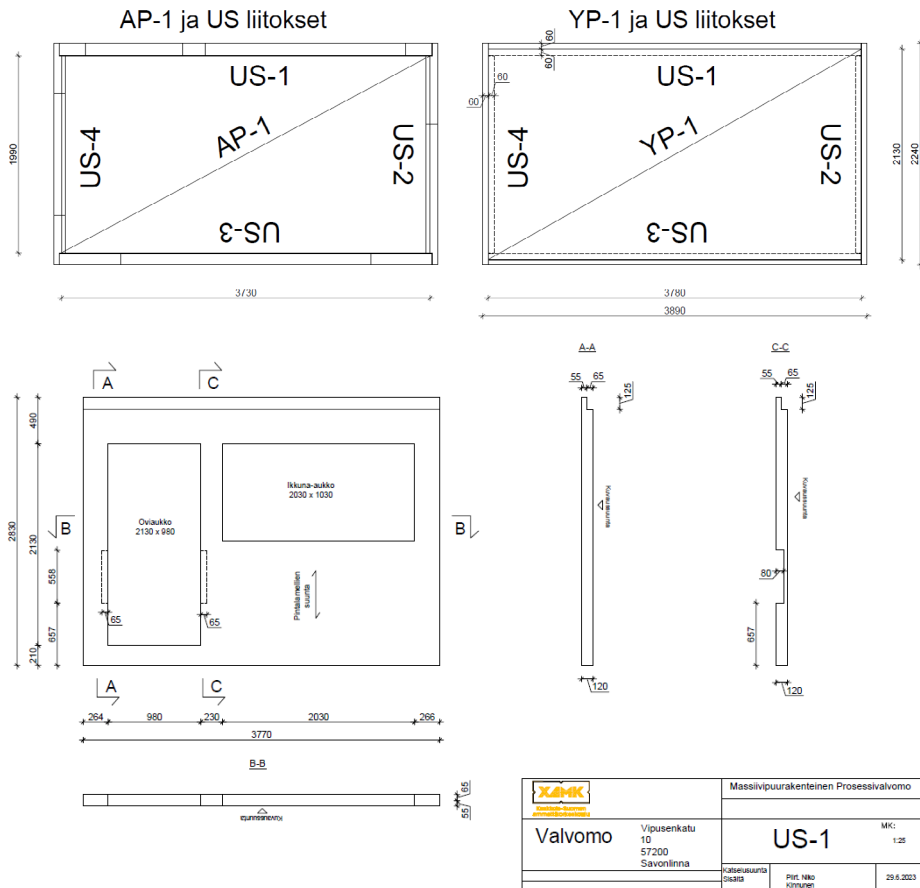
Rakennesuunnitelmien avulla pääsimme aloittamaan elementtisuunnittelun. Elementtisuunnitelmien valmistuttua pystyimme budjetoimaan ja muodostamaan lopullisen hankesuunnitelman massiivipuurakenteisesta prosessivalvomosta. Rahoituksen varmistuttua aloitimme aktiivisen hankkeen toiminnan ja materiaalien kilpailutuksen.



KUVA 5. CNC-jyrsinnän tulos (kuva Aarno Hatsala).

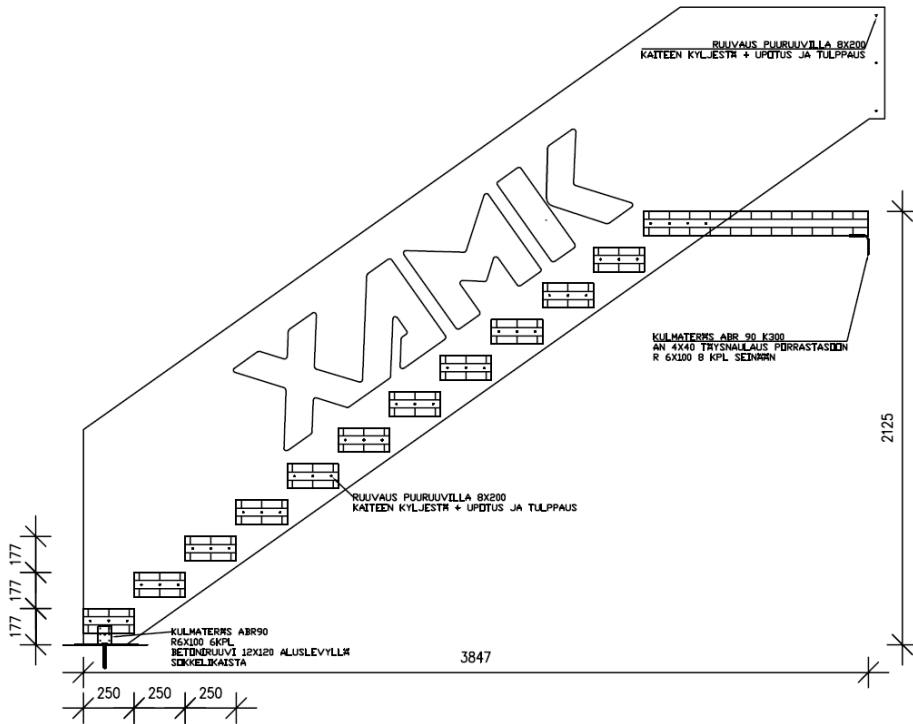
Elementtisuunnittelu

Kun kaikkien ovien ja ikkunoiden mitat olivat selvät, piirsimme elementtikuvat puhtaiksi. Kuvat piirrettiin AutoCad-ohjelmalla. Elementtisuunnittelussa noudatimme elementti- sekä lasivalmistajan antamia 5 mm:n asennusvaroja. Valvomon tiivyyttä ajatellen päätimme asentaa paisuvaa saumanauhaa kaikkiin liitoksiin. Tilan sisäilman tarpeellinen vaihtuvuus varmistettiin tekemällä takaseinälle kaksi halkaisijaltaan 150 mm:n reikää. Toinen reikä sijoittuu ylänurkkaan, johon asennettiin poistoilmapuhallin. Vastakkaiseen alanurkkaan asennettiin korvausilmaventtiili. Lisäksi alapohjaan jyrtsittiin kaksi kappaletta 50 mm:n aukkoja, joista kuormituskehän hallintalaitteiden kaapelit nousevat valvomon sisälle. Viimeistellyn lopputuloksen aikaansaamiseksi kaikki näkyvälle paikalle jäävät ruuvikannat upotettiin ja reiät tulpattiin puutulpilla.



KUVA 6. Elementtikuvia (kuva Niko Kinnunen).

Portaat päätimme toteuttaa myös CLT:stä. Saimme idean hyödyntää nykyteknologian hienoa CNC-jyrsintämenetelmää. Hankehenkilöstön kesken visioimme Xamk-tekstin jyrsittyä kaiteeseen. Hahmotelimme sopivan kokoisen tekstin kai-
delevylle, minkä jälkeen pystyimme tekemään kaiteen lujuuslaskelmat. Mitoitimme myös porrasaskelmat ja tarvittavat kiinnikkeet.



KUVA 7. Portaiden kokoonpanokuva (kuva Pasi Eskelinen).

Kokoonpano työmaalla

CLT-elementit tuotiin kuorma-autolla Kuhmosta. Elementit nostettiin pinoihin lattialle odottamaan asennusta.



KUVA 8. CLT-elementit odottamassa asennusta (kuva Niko Kinnunen).

Elementtien asennus alkoi tarkistamalla sijoituskohta. Koska valvomo sijoittui väliaikaisen ontelolaataston päälle eikä pohja ollut täysin tasainen, jouduttiin pohjalla käyttämään korokepalloja. Elementtien asennus aloitettiin asentamalla kantavat päätyseinät. Nosto suoritettiin hallin siltanosturia, kuormaliinoja, nostoketjuja ja pultattavia sankasilmukoita käyttäen.



KUVA 9. Elementin nosto siltanosturin avulla (kuva Niko Kinnunen).

Seinät tuettiin väliaikaisesti pystyyn elementtitukien avulla. Seinät kiinnitettiin rakennesuunnitelmien mukaisesti lattiaan betoniruuveja, kulmarautoja sekä ankkuriruuveja käyttäen.



KUVA 10. Elementtien työnaikainen tuenta elementtitukien avulla (kuva Niko Kinnunen).

Kantavien seinien jälkeen asennettiin alapohja. Alapohjalaatta nostettiin samalla menetelmällä kuin päätyseinät. Laatta liu'utettiin sivusta seinien huullokseen. Tätä menetelmää käyttäen säästyttiin ylimääräiseltä tuennalta laatan alapuolelle.



KUVA 11. Laatan aseointi huullokseen (kuva Niko Kinnunen).

Seuraavana asennettiin pidemmän sivun seinät. Seinien päädyt tulivat 60 mm:n tuelle kantavien päätäseinien huullokseen.



KUVA 12. Pidemmän sivun seinän asennus (kuva Niko Kinnunen).

Yläpohjalaatta asennettiin viimeisenä osana valvomon rakennetta. Laatta nostettiin samalla tavalla kuin alapohjalaatta, mutta se voitiin vain laskea ylhäältä päin paikalleen sille työstettyyn huullokseen.

Valvomon sisäänkäynnin osana olevat portaat asennettiin seuraavaksi. Asennus alkoi kaiteista. Kaiteet nostettiin siltanosturia ja kuormaliinoja käyttäen paikoilleen. Kaiteet kiinnitettiin rakennesuunnitelmien mukaisesti ylä- ja alapäästä. Porraskelmien asennuksessa käytettiin puupaloja askelmien alapuolella väliaikaisena tuentana.



KUVA 13. Portaiden asennus (kuva Niko Kinnunen).

Rakenteiden valmistuttua voitiin poistaa työnaikaiset tuennat. Tällöin huomattiin rakenteen huojuvan pidemmän sivun suuntaisesti. Sivuliikkeen korjaamiseksi päätettiin asentaa alapohjan alle lisätuet. Lisätuentaa pohdittiin yhteistyössä rakennesuunnittelijan ja hankehenkilöstön kanssa. Lopulta päädyimme kolmionmuotoiseen CLT-palaan, joka liimattiin ja ruuvattiin alapohjan alle jokaiseen nurkkaan.



KUVA 14. Valvomoon jälkepäin lisätty tuenta (kuva Niko Kinnunen).

Rungon valmistuttua valvomoon asennettiin ikkunat, ovet, aukaistavat tikkaat hätäpoistumistietä varten, ilmanvaihtoon tarvittavat venttiilit, ikkunoiden eteen turvaverkot, vinyylilankkulattia ja jalkalistat. Lopuksi puupinnat käsiteltiin vaaleansävyisellä kuullotteella.



KUVA 15. Valvomo melkein valmis (kuva Niko Kinnunen).

Yhteenveto

Hankkeen tavoitteena oli luoda uusi innovaatio teollisen ympäristön valvontaan, ja tämän tavoitteen täytimme erinomaisesti. Elementit olivat mittatarkasti työstettyjä, ja valvomon kokoaminen onnistui ammattimaisesti sekä työturvallisesti rakennusliikkeen toimesta. Hanke toteutui sujuvasti, ja elementtiasennukseen kului aikaa vain noin kolme päivää ottaen huomioon, että joitain apuvälineitä täytyi hankkia kesken pystytyksen. Ainoastaan käynnissä ollut lomakausi vaikeutti joitakin materiaalihankintoja. Hyvin valmisteltuna valvomon toteutus avaimet käteen -palveluna olisi toteutettavissa yhden työviikon aikana. Tuloksena saimme markkinavalmiin kokonaisuuden massiivipuusta valmistetulle prosessivalvomolle. CLT-valvomo osoittautui helposti toteutettavaksi, vähähiiliseksi ja kustannustehokkaaksi ratkaisuksi. Valvomo on helposti muokattavissa mittasuhteiden ja tarpeiden mukaan eri käyttötarkoituksia varten.

FORESTRY INDUSTRY WASTE AND BY-PRODUCTS USED AS RAW MATERIALS FOR THE DEVELOPMENT OF FIRE RESISTANTS

Irina Turku

This research is carried out within the framework of the Bio- and cellulose-based wood construction products flame-retardant project (Biosuoja) (1.1.2023–31.12.2023) Savonlinna, South-Eastern Finland University of Applied Science, FiberLaboratory. Aalto University and the Mikopolis research unit of Xamk have also participated in the project. The main objective of this project is to develop novel bio-based additives with fire-retardant properties that can be used on wooden constructions. The project has been developed by Xamk Fiber Laboratory in conjunction with Aalto University's chemical engineering department and is being carried out in collaboration with leading companies in the related field.

Biobased and safe fire retardants

Wood is an incredibly sustainable material, and there is a growing interest in its use in the building industry, especially for eco-friendly construction. However, using wood as a construction material is limited by fire safety regulations due to its combustibility. Flame retardancy in wooden structures plays a crucial role in preventing fire accidents and safeguarding people from potential fire hazards.

The conventional way to decrease the flammability of materials and products is by using fire retardants (FRs). The global market for fire retardants was valued at over 2.39 million tonnes in 2019, with an annual growth rate of 2.7% between 2019 and 2025 (Anon a). Unfortunately, most commercially available flame retardants utilise potentially harmful ingredients, like bromine, chlorine or phosphorus. Additionally, conventional FRs are primarily fossil-derived, making them dependent on resource availability and cost. Consequently, developing sustainable, available and environmentally friendly fire-retardant additives is a critical issue for sustainable economic development.

The concept of a circular economy is focused on reducing waste through recycling and creating value-added products. This approach is also applicable in developing fire-retardant systems. The Biosuoja project aims to develop fire-retardant materials by utilising by-products and waste streams generated during the processing of forest materials. The waste materials from pulp and paper mills have a varied chemical composition and physico-chemical properties. Although these materials are often used for fuel or energy due to their woody properties, they can also be utilised as cost-effective substitutes in the construction industry. Along with solid waste streams, pulp and paper mills also produce significant amounts of carbon dioxide. (Anon b).

This article provides an overview of several forest industry wastes and side-stream materials that can be utilised as a source of fire-retardant additives or mediums for materials modification. In addition, pathways for utilising CO₂ in manufacturing chemicals with potential use in the fireproof materials field are described.

Black liquor & lignin

One of the largest solid/liquid wastes from a pulp and paper mill is black liquor (ML), which is typically used as a heat feed. About 80% of the ML solid in Kraft pulp consists of lignin and hemicellulose. Generally, lignin is high calorific material, 27 MJ/kg, while the calorific value of hemicelluloses is half that of lignin, about 13.6 MJ/kg; so hemicelluloses are less durable in this application (Huang et al. 2019). In terms of the circular economy, valuable components can be used in the processing of value-added products instead of being burned or discharged. In this context, an alternative method for ML reuse is the production of syngas, which is typically done through gasification technology. Apart from syngas processing, the main components of ML, lignin and hemicelluloses, can be used as substrates in the development of FR additives.

Lignin is an aromatic polymer with a high carbonisation capacity, which varies between 40 wt% and up to 59 wt% (700 °C) depending on the type of lignin. Carbonisation, or charring, is an effective mechanism to protect the substrate from burning. Carbonaceous char creates a physical barrier between the substrate and burning sources (flammable gases, heat), thereby hindering flaming. Many research papers demonstrated the effectiveness of lignins as FR additives (Costes et al. 2017, Réti et al. 2008, Widsten et al. 2021). Notably, lignin has even better FR activity compared to its traditional counterpart, pentaerythritol, a char source in the FR intumescent system (Réti et al. 2008, Widsten et al. 2021). To improve the charring ability of lignins, they are typically combined with phosphorus-based (P) flame retardants.

Hemicellulose

Hemicelluloses (HCs) are the second most abundant plant cell wall constituent. The chemical composition of hemicellulose and its content depends on the plant species. Thus, xylans are the most common hemicellulose in hardwood, while galactoglucomannan (mannans) is the primer hemicellulose in softwood (Laine et al. 2013). Due to their oxygen, moisture and odour-barrier effectiveness, and film-forming ability, HCs are of interest in packaging and coating applications. Through modification, hemicellulose-based products can be used as fire-retarding coatings. The nanosized layered silicates, typically montmorillonites and bentonites, are the most used additives for hemicellulose film modification. Hemicellulose polymers and exfoliated silicate plates create a so-called “brick-mortar” structure, which is an effective barrier to heat and flammable volatiles transportation (Huang et al. 2019, Guan et al. 2014). Nanosized clays allow the synthesis of transparent hemicellulose-based films/coatings in the case of appropriate particle dispersion in the substrate (Guan et al. 2014).

HC is typically mixed with lignin, and to recover pure hemicelluloses from the wood hydrolysate (WH) for the production of food packaging films or other valuable products, some purification steps must be performed. In less-demanding applications, however, the purity of the substrate is less important, and the hemicellulose-containing WH can be used without additional cleaning. Thus, Chen et al. successfully synthesised a WH-based hybrid, where nanoclays and graphene oxide were used as functional additives. The synthesised hybrid was mechanically stable and showed significant FR performance (Chen et al. 2018).

Biopolyols

Polyols are a type of FR additive that typically uses a carbon source in an intumescent flame retardant (IFR) system. A classic example of this type of IFR system polyol is pentaerythritol (PER), currently derived from fossil sources. From the environmental perspective, FR polyols can be obtained from plants. Thus, hemicelluloses are potential resources of monosaccharides, pentoses and hexoses that can be easily converted to alcohol equivalents/polyols. Another way to obtain sugar alcohols, such as sorbitol, mannitol, xylitol and arabitol, is the catalytic hydrogenolysis of biomass (Yamaguchi et al. 2019). It must be said that pure sugar alcohols are flammable, but their phosphorylated forms show fireproof performance (King 2017). Wang et al. synthesised a xylitol-based flame retardant, xylitol phosphoric ester acid ammonium salt (ASXPEA), which was effective as an FR coating on cotton fibres (Wang et al. 2019). In another work, Liu et al. also used the same approach to produce sorbitol phosphate ammonium (SPA) flame retardant (Liu et al.

2020). SPA-finished lyocell fibres showed significant thermal stability and flame retardancy, which was maintained even after several washes. Similarly, Zhang et al. have used mannitol to synthesise a durable FR coating on cotton fabrics (Zhang et al. 2020, Duval et al. 2022).

Polyols can also be produced from lignocellulose, lignin and tannin (Antoine Duval and Avérous 2017, A. Duval et al. 2022). Currently, these polyols are mainly being studied as a sustainable substrate in the synthesis of polyurethane foams (PU), including foams with induced fire resistivity. Meanwhile, it was recently found that polyols derived from lignin have higher thermal stability compared to pure lignin (Wu et al. 2021). In this regard, lignopolyols become an attractive biobased FR additive.

The possibility of using atmospheric CO₂ in the synthesis of fire-proofing materials

Despite the negative environmental effects of CO₂ emissions, such as the greenhouse effect, it's important to recognise that CO₂ is becoming an increasingly significant contributor to the development of sustainable and green economy. From a recycling standpoint, CO₂ is a consistently available, inexpensive and renewable source of carbon that can unlock access to energy resources and facilitate material synthesis. Carbon dioxide recovery and utilisation technologies (CCU) strive to collect and convert waste CO₂ into valuable products.

CO₂ can be captured from anthropogenic sources or directly from the atmosphere. Industries, such as electricity production, heating, manufacturing, construction and fuel combustion, are major sources of CO₂ emissions (Aresta et al. 2014). The pulp and paper industry alone produces around 190 million tonnes of CO₂ (0.45 tCO₂/t of paper) annually, which accounts for approximately 2% of the industry's total emissions (Anon b). Currently, CO₂ is mainly used for fuel synthesis, but it can also be employed in the production of various chemicals (Kim et al. 2022, Alagi et al. 2017). The section below shows some examples of flame-retardant materials that can be produced from atmospheric CO₂. The schematic presentation of CO₂ used in FR ingredients synthesis is shown in Figure 1.

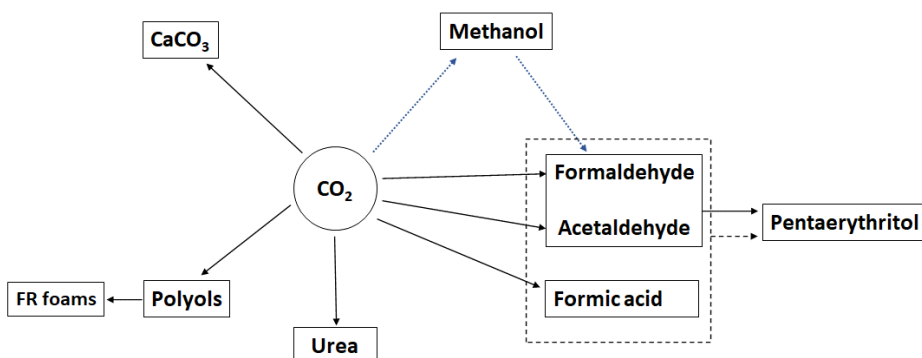


FIGURE 1. The potential of CO₂-waste-utilisation-based technologies in fire retardant ingredients synthesis (figure Irina Turku).

A “green” approach to the synthesis of polyols/ pentaerythritol

Pentaerythritol (PER) is a widely used polyol in the field of fire protection. In an intumescent FR system, the polyol serves as a carbon source, and the intensity of its reaction depends on the number of phosphorylated hydroxyl groups, as well as -OH/C ratio. Formaldehyde, acetaldehyde (Figure 2) (Koudelka 1982) and formic acid (Eek 1997) are the primary components used to synthesise pentaerythritol. The main substrate for aldehydes synthesis is methanol (MeOH). MeOH is currently fossil-derived, but green technologies of its synthesis from CO₂ and syngas are developed for large-scale manufacturing (Turku 2022). Moreover, the direct synthesis of aldehydes and formic acids from CO₂ is also known, however, mostly on a lab-scale level. Using direct CO₂ conversion technologies for PER precursors synthesis allows for avoiding additional steps for MeOH production (Figure 1).

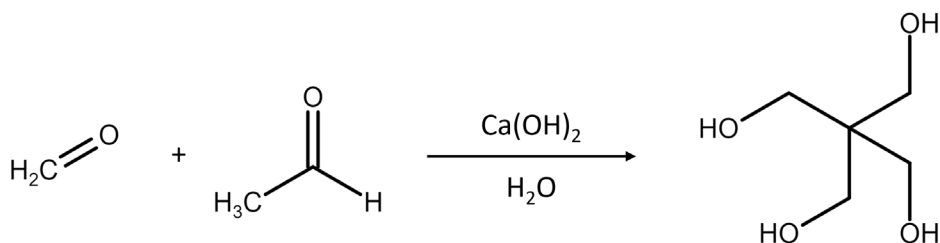


FIGURE 2. Synthesis of pentaerythritol from formaldehyde and acetaldehyde catalytic condensation reaction (modified from Anon c).

Methanol

Methanol (MeOH) synthesis commonly utilises a catalytic conversion of a syngas mixture (CO, H₂, and CO₂), carried out at a high temperature and pressure, according to the following reaction:



Currently, the main substrate for syngas production is methane-rich natural gas. Using environmentally and economically sustainable routes for MeOH production with low (or even zero) carbon-footprint technologies has become increasingly important in recent decades. One way to achieve this is by using exhaust gas as a carbon source, while the production of pure H₂ can be achieved through water electrolysis. Biomass gasification is another way for green *syngas* synthesis (Turku 2022). By utilising sustainable sources of electricity, such as wind and solar radiation, the H₂ production process can be completely free of carbon dioxide emissions.

Formic acid

Formic acid (HOC₂H) production through CO₂ utilisation is yet to be commercialised, and multiple studies are underway to develop the process. However, there are several challenges to overcome. Currently, the primary source of formic acid is methanol, which is known as BASF technology. BASF is the primary producer of this chemical (Aresta et al. 2014). The technology relies on the following reactions:



The direct reaction, i.e., CO₂ hydrogenation reaction to formic acid (reaction 5) in the presence of a Ni-Raney catalyst was first proposed in 1935, and today it is also of interest as a utilisation of CO₂ from the atmosphere.



In the past few decades, there have been many opportunities for developing the right catalyst for carbon dioxide hydrogenation, and such opportunities are still being explored (Aresta et al. 2014, Kim et al. 2022, Moret et al. 2014). Another

way to produce formic acid is through the electrochemical conversion of CO₂ (Kim et al. 2022).

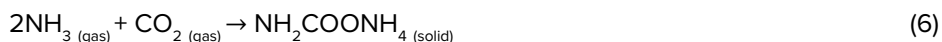
Formaldehyde

Formaldehyde (HCHO) is an important precursor to many chemical compounds used in the production of resins, including urea formaldehyde resin, melamine resin and phenol formaldehyde resin. Today, formaldehyde is primarily synthesised through the catalytic oxidation of methanol. However, new methods that utilise carbon dioxide have been reported (Rauch et al. 2019, Guo et al. 2022). Rauch et al. proposed a two-step formaldehyde synthesis via bis(silyl)acetal intermediate. Another study reported the photoenzymatic cascade reduction of CO₂ to formaldehyde (Guo et al. 2022).

Urea

Urea (NH₂COONH₂) has various applications, such as being used as an agricultural fertiliser, a reducing agent in diesel vehicles and a monomer in polyurethane synthesis. In the fire protection area, urea is used as an additive in the phosphorylation of cellulose and other OH-containing polymers. There, urea acts as both a catalyst and a protective agent (Turku et al. 2023, article ready for submission). Originally, urea was synthesised by the reaction between silver cyanate and ammonium chloride, but currently, commercial/mass production is based on the reaction between ammonia and CO₂ to produce ammonium carbamate, which is then dehydrated to urea, (6) and (7) (Kim et al. 2022).

From the point of view of recycling of CO₂, the production of urea through the decomposition of ammonium carbamate (AC) is one of the perspective routes. This is a two-step synthesis: an AC synthesis from CO₂ in the first reaction, and dehydration of AC to form urea in the second (Kim et al. 2022). Currently, carbon dioxide is produced from coal, methane or low-grade hydrocarbons (Aresta et al. 2014). Because of the generally growing market for urea, there is the potential here for development of technology based on utilisation of CO₂ captured from the atmosphere.



Calcium carbonate

Calcium carbonate (CaCO_3) is typically used in paper-making technology, paints, construction industry and others. In addition, calcium carbonate is one of the minerals which shows effectiveness in fire suppression (Hernandez et al. 2022, Laoutid et al. 2020). CaCO_3 is abundant on the earth's surface, mostly presenting in rocks like limestone and chalk. In nature, CaCO_3 is formed through the carbonisation reaction of lime, the reaction between CaO and CO_2 . Mimicking the natural process, CaCO_3 can be produced directly by the reaction between CO_2 with minerals containing Ca. In indirect carbonisation, Ca is first extracted from the primary source, making this process more complicated. However, indirect synthesis produces high purity CaCO_3 . Carbonisation technology also allows the application of Ca-containing industrial wastes that make CaCO_3 production highly sustainable and the CO_2 footprint negative. Research in this area is mostly focused on the direct and indirect carbonisation/ CO_2 -mineralisation of steel slag and waste concrete (Park et al. 2021, Tong et al. 2021).

Conclusion

The market for fire-retardant materials is expanding and evolving rapidly. Currently, the industry relies heavily on fossil fuels, and many of the commonly used additives are harmful to the environment. With this background, there is growing interest in developing more sustainable solutions for fire protection, such as using materials derived from biorefineries, as well as naturally occurring and man-made nanomaterials with multifunctional properties. The design inspired by nature's materials has also become increasingly popular in various fields, including fire-proofing. However, biorefinery-based fire retardants are still in an infant stage of development, and significant efforts are needed for their commercialisation.

REFERENCES

Anon a. Flame retardants-online. Available: www.flameretardants-online.com/flame-retardants/market; [referred 1.11.2023]

Anon b. International Energy Agency IEA. Tracking Pulp and Paper. Available: www.iea.org/reports/pulp-and-paper [referred 1.11.2023]

Anon c. Organic Syntheses. A Publication of Reliable Methods for the Preparation of Organic Compounds. Available: orgsyn.org/demo.aspx?prep=CV1P0425 [referred 1.11.2023]

Alagi, P., Ravindra, G., Ye, J.C., Umakant, P., Il, K., Joon, Baik., Sung, C.H. 2017. Carbon Dioxide-Based Polyols as Sustainable Feedstock of Thermoplastic Polyurethane for Corrosion-Resistant Metal Coating. *ACS Sustainable Chemistry and Engineering* 5 (5): 3871–81. Available: <https://doi.org/10.1021/acssuschemeng.6b03046>.

Chen, G-G., Ya J., Feng, P., Jing, B., Li M-F., Yao, C-L., Sun, R-C. 2018. “Fabrication of Strong Nanocomposite Films with Renewable Forestry Waste/Montmorillonite/Reduction of Graphene Oxide for Fire Retardant.” *Chemical Engineering Journal* 337 (April): 436–45. Available: <https://doi.org/10.1016/j.cej.2017.12.119>.

Costes, L., Laoutid, F., Brohez, S., Dubois P. 2017. “Bio-based flame retardants: When nature meets protection.” *Materials Science and Engineering R* 117: 1-25.

Duval, A., Vidal, D., Sarbu, A., René, W., Avérous, L. 2022. “Scalable Single-Step Synthesis of Lignin-Based Liquid Polyols with Ethylene Carbonate for Polyurethane Foams.” *Materials Today Chemistry* 24 (June). Available: <https://doi.org/10.1016/j.mtchem.2022.100793>.

Duval, A., Luc A. 2017. “Cyclic Carbonates as Safe and Versatile Etherifying Reagents for the Functionalization of Lignins and Tannins.” *ACS Sustainable Chemistry and Engineering* 5 (8): 7334–43. Available: <https://doi.org/10.1021/acssuschemeng.7b01502>.

Guan, Y., Bing Z., Xin T., Xian M-Q., Jing B., Feng P., Run C-S. 2014. “Organic-Inorganic Composite Films Based on Modified Hemicelluloses with Clay Nanoplatelets.” In *ACS Sustainable Chemistry and Engineering*, 2:1811–18. American Chemical Society. Available: <https://doi.org/10.1021/sc500124j>.

Guo, M., Fengjuan, G., Lingding M., Qiyong L., Zihui M., Wenfang L. 2022. "Synthesis of Formaldehyde from CO₂ Catalyzed by the Coupled Photo-Enzyme System." *Separation and Purification Technology* 286 (April). Available: <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2022.120480>.

Hernandez, V., Romero, R., Arias, S., Contreras, D. 2022. "A novel method for calcium carbonate deposition in wood that increases carbon dioxide concentration and fire resistance." *Coatings*. 12, 72. Available: <https://doi.org/10.3390/coatings12010072>

Huang, C., Bhagia, S., Hao, N., Meng, X., Liang, L., Yong, Q., Ragauskas A-J. 2019. "Biomimetic Composite Scaffold from an in Situ Hydroxyapatite Coating on Cellulose Nanocrystals." *RSC Advances* 9 (10): 5786–93. Available: <https://doi.org/10.1039/c8ra09523j>.

Kim, C., Chun J-Y., Hyung S-O., Byoung K-M., Ung L. 2022. "Review of Carbon Dioxide Utilization Technologies and Their Potential for Industrial Application." *Journal of CO₂ Utilization*. Elsevier Ltd. Available: <https://doi.org/10.1016/j.jcou.2022.102239>.

King. 2017. "United States Patent." Available: <http://www.organic-chemistry.org/protectivegroups/carbonyl/> [referred 1.11.2023]

Laine, C., Harlin A., Hartman, J, Hyvärinen, S., Kammiovirta K., Krogerus, B., Pajari H. 2013. "Hydroxyalkylated Xylans - Their Synthesis and Application in Coatings for Packaging and Paper." *Industrial Crops and Products* 44 (January): 692–704. Available: <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2012.08.033>.

Laoutid, F., Vahabi, H., Movahedifar, E., Laheurte, P., Vagner, C., Cochez, M., Brisson, L., Saeb MR. 2020. "Calcium carbonate and ammonium polyphosphate flame retardant additives formulated to protect ethylene vinyl acetate copolymer against fire: Hydrated or carbonated calcium? *Journal of Vinyl & Additive Technology*: 1-11. DOI:10.1002/vnl.21800

Liu, X-H., Ding, C., Peng, B., Ren, Y-I., Cheng, B., Lin, S., He, J., Su, X. 2020. "Synthesis and Application of a New, Facile, and Efficient Sorbitol-Based Finishing Agent for Durable and Flame Retardant Lyocell Fibers." *Cellulose* 27 (6): 3427–42. Available: <https://doi.org/10.1007/s10570-019-02894-z>.

Moret, S., Dyson, P., Laurency, G. 2014. "Direct synthesis of formic acid from carbon dioxide by hydrogenation in acidic media." *Nature Communications*. Available: DOI: 10.1038/ncomms5017.

Park, S., Ahn, Y., Lee, S., Choi, J. 2020. "Calcium carbonate synthesis from waste concrete for carbon dioxide capture: From laboratory to pilot scale." *Journal of Hazardous Materials* 403. Available: doi.org/10.1016/j.jhazmat.2020.123862

Rauch, M., Strater, Z., Parkin, G. 2019. "Selective Conversion of Carbon Dioxide to Formaldehyde via a Bis(Silyl)Acetal: Incorporation of Isotopically Labeled C1 Moieties Derived from Carbon Dioxide into Organic Molecules." *Journal of the American Chemical Society* 141 (44): 17754–62. Available: <https://doi.org/10.1021/jacs.9b08342>.

Tong, Z., Sun, J., Wang, J., Tan, Z., Liu, S. 2021. "Iron reduction and diopside-based glass ceramic preparation based on mineral carbonization of steel slag." *Environmental Science Pollution Research* 28: 796–804. Available: <https://doi.org/10.1007/s11356-020-10358-2>

Turku I. 2022. "Biomass-to-Methanol (BtM) *via* Gasification." *Metsä, ympäristö ja energia. Soveltavaa tutkimusta ja tuotekehitystä vuosijulkaisu 2022. Xamk Kehittää.* Pages 175–183.

Wang, D., Zhong, L., Zhang, C. Li, S. Tian, P. Zhang, F, Zhang, G. 2019. "Eco-Friendly Synthesis of a Highly Efficient Phosphorus Flame Retardant Based on Xylitol and Application on Cotton Fabric." *Cellulose* 26 (3): 2123–38. Available: <https://doi.org/10.1007/s10570-018-2193-5>.

Wu, M., Peng, J., Dong, Y., Pang, J, Zhang, X. 2021. "Extraction and Oxypropylation of Lignin by an Efficient and Mild Integration Process from Agricultural Waste." *Industrial Crops and Products* 172 (November). Available: <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2021.114013>.

Yamaguchi, A., Mimura, N., Shirai, M., Sato, O. 2019. "Cascade Utilization of Biomass: Strategy for Conversion of Cellulose, Hemicellulose, and Lignin into Useful Chemicals." *ACS Sustainable Chemistry and Engineering* 7 (12): 10445–51. Available: <https://doi.org/10.1021/acssuschemeng.9b00786>.

Zhang, F., Lu, Y., Wan, C., Tian, P., Liu, M., Zhang, G. 2020. "A Bio-Resourced Mannitol Phospholipid Ammonium Reactive Flame Retardant for Cotton with Efficient Antiflaming and Durability." *Cellulose* 27 (8): 4803–15. Available: <https://doi.org/10.1007/s10570-020-03064-2>.

KOHTI VIHREÄMPÄÄ KAIVOSTOIMINTAA

Niina Paasovaara & Samuel Hartikainen & Hannu Kuopanportti
& Sirpa Peräniemi

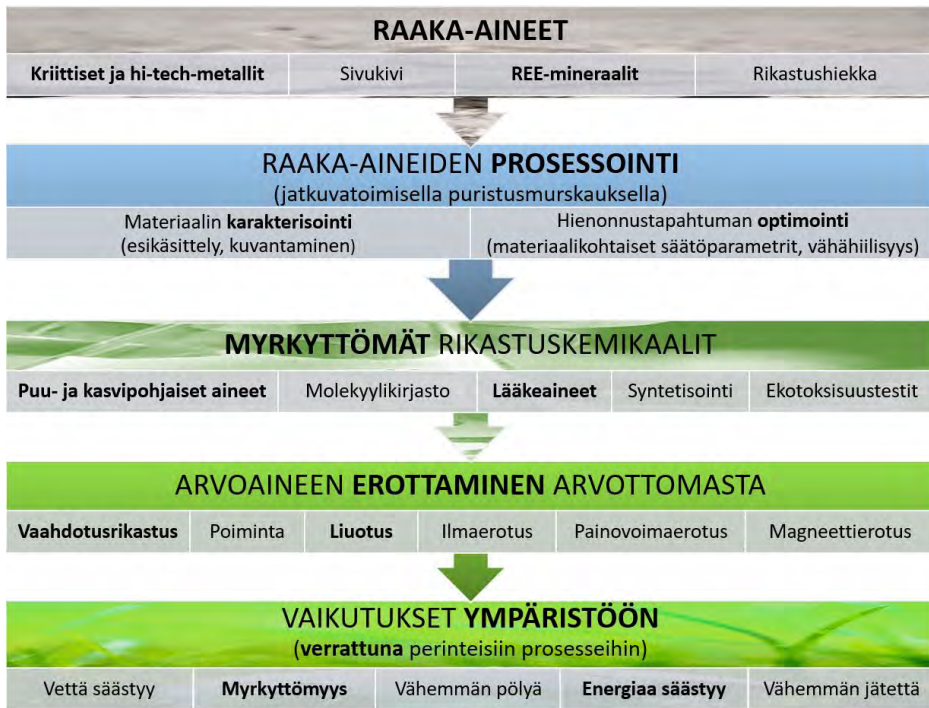
Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulun (Xamk) Savonlinnan Kuitulaboratoriossa yhteistyössä Oulu Mining Schoolin (OMS, OY) ja Itä-Suomen yliopiston farmasian laitoksen (UEF, farmasia) kanssa tutkitaan ja kehitetään kaivosteollisuuden prosessiketjua murskauksesta arvomineraalien rikastamiseen tavoitteena vähemmän vettä, kemikaaleja ja energiaa kuluttavat malmien rikastusprosessit. Savonlinnassa toteutumisajalla 1.1.2021–31.12.2022 käynnissä ollut HUGGER, bio- ja kiertotalouden materiaalien energiatehokas murskausprojekti otti ensimmäiset askeleensa kehitettäessä ja testattaessa maailman ensimmäistä vapaaseen murtumiseen perustuvaa pilot-mittakaavan jatkuvatoimista puristusmurskausteknologiaa, jota voidaan käyttää erilaisten kivi- ja kiertotalousmateriaalien hienontamisessa. HUGGER-projektia rahoittivat Etelä-Savon ELY-keskus ja Etelä-Savon maakuntaliitto Kestävää kasvua ja työtä -rakennerahasto-ohjelmasta (Euroopan aluekehitysrahastosta). Tutkimusta on rahoittanut myös K.H. Renlundin säätiö useilla väitöskirjatutkijoille myönnettyillä henkilökohtaisilla apurahoilla.

Jatkuvatoimisella puristusmurskauksella voidaan tuottaa omamuotoisia kidepin-toja, rosoisempia partikkeleja ja mineraalien luonnollisia raerajoja myötäileviä mikrohalkeamia sisältävää hienonnustuotetta. Tällaiset hienonnustuotteet ovat kaikista optimaalisinta syötemateriaalia uusiin, nyt tutkimuksen alla oleviin myrkytömiin kemikaaleihin perustuviin vaahdotusrikastus- ja liuotusprosesseihin sekä kuivarikastusprosesseihin. Jatkuvatoimisella puristusmurskauksella tuotettu hienonnustuote sisältää myös huomattavasti vähemmän liian hienoksi jauhautunutta materiaalia, joka muodostuessaan haittaisi rikastusprosesseja ja lisäisi materiaali-hukkaa.

Uuden prosessikokonaisuuden lähtökohta

Kaivosteollisuus on yksi merkittävimmistä maapalloa rasittavista teollisuudenaloista kuluttaessaan 6–7 prosenttia maailman kokonaisenergiasta ja aiheuttaessaan 4–7 prosenttia kaikista CO₂-päästöistä joka vuosi. Kaivostoiminta kuluttaa myös 7–9 miljardia m³ vettä vuosittain, ja siitä aiheutuvat ympäristöhaitat ovat

merkittäviä. Globaali kaivosteollisuus on haasteiden edessä, sillä louhittavat mineraaliesiintymät sisältävät arvokkaita alkuaineita yhä vähenevässä määrin ja kaivoksen välttämättömät toiminnot tarvitsevat lisää energiaa, kemikaaleja ja vettä toiminnan takaamiseksi. Kaivosteollisuuden nykyiset käsittelymenetelmät ovat siis erittäin energiaintensiivisiä ja tehottomia, eikä nykyisillä menetelmillä pystytä poistamaan uhkaavaa raaka-ainepulaa. Nykyaikaisen ja paljon energiaa vaativan yhteiskunnan tarpeiden täyttämiseksi markkinoille on luotava uusia ja tehokkaampia käsittelymenetelmiä mahdollisimman nopealla aikataululla. Nyt tutkimuksen ja kehityksen alla oleva Xamkin, OY:n ja UEF:n yhteistyössä toteutettava vähemmän vettä, kemikaaleja ja energiaa kuluttava prosessikokonaisuus haluaa vastata tähän haasteeseen (kuva 1).



KUVA 1. Jatkuvatoimisen puristumurskausteknologian ja myrkyttömien kemikaalien yhdistämisellä saatu vettä, kemikaaleja ja energiaa säästävän prosessikokonaisuuden pääkohdat (kuva Niina Paasovaara).

Jatkuvatoiminen puristumurskaus

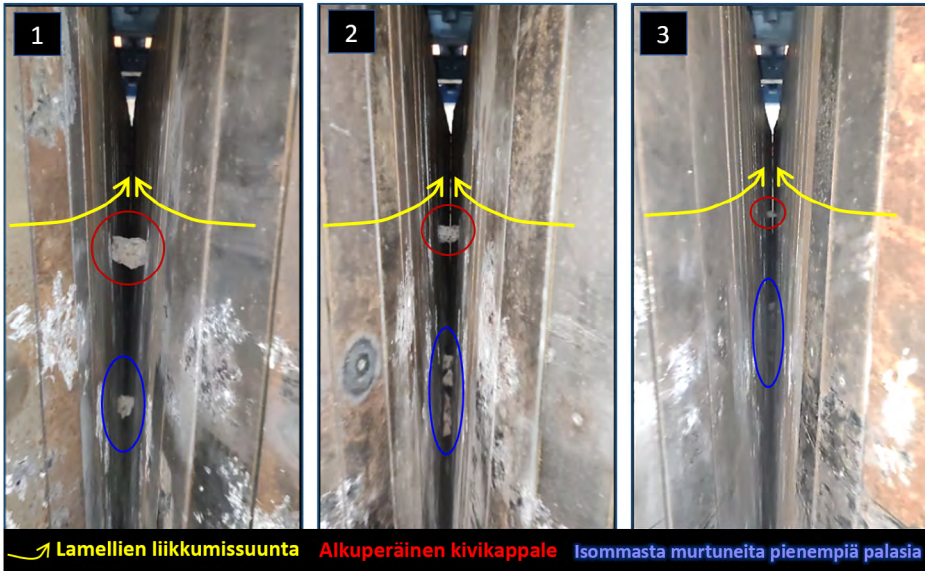
Kuvaan 1 on koottu pääkohdat prosessikokonaisuudesta. Raaka-aineen lähteenä voidaan käyttää mitä tahansa kaivosteollisuuden materiaalivirtaa. Tutkimuksen erityisenä fokuksena ovat kuitenkin vihreän siirtymän kannalta kriittisimmät mineraalit ja metallit, kuten rauta, kupari, koboltti, litium ja grafiitti. Raaka-aineen

mekaaninen prosessointi eli murskaus ja jauhatus toteutetaan uutta hienonnus-tekniikkaa hyväksi käyttäen. Kyseessä on ideaaliseen murtumistapaan perustuva jatkuvatoiminen puristumurskaus (kaupallinen nimi Hugger), joka patentoitiin vuonna 2018 (Kuopanportti & Hynynen 2020). Patentin omistaa nykyisin koneenrakentamiseen erikoistunut raahelainen yritys Tevo Oy, mutta sekä Xamkillä että Oulun yliopistolla on oikeus tutkia ja kehittää uutta teknologiaa ja sen sovelluskohteita nyt ja tulevaisuudessa. Menneen HUGGER-sovellusprojektin ja sen rinnalla olleen laiteprojektin puitteissa suunniteltiin ja rakennutettiin ensimmäinen pilot-mittakaavan jatkuvatoiminen puristumurskain syksyllä 2022 (kuva 2).

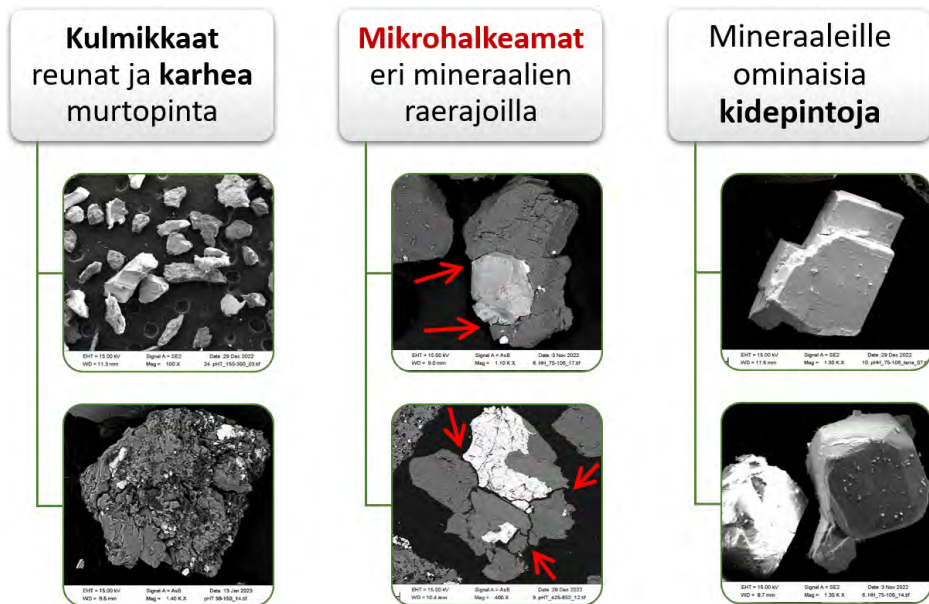


KUVA 2. Pilot-mittakaavan jatkuvatoiminen puristumurskain (kuva Samuel Hartikainen).

HUGGER-projektissa testattiin 12 tekstuuriltaan ja mineraalikoostumukseltaan erityyppistä malmikivimateriaalia pilot-mittakaavan puristumurskaimella (kuva 3). Kattavan vertailuaineiston aikaansaamiseksi uuden laitteen rinnalla tehtiin murskuskokeita myös neljällä muulla menetelmällä Oulun yliopistossa: leukamurskauksella, valssimurskauksella, laboratoriomittakaavan puristumurskaimella ja hydrauliprässin kuormituskokeilla. HUGGER-projektin aikana saadut tulokset todistivat ideaaliseen murtumiseen perustuvat hypoteesit tosiksi: uusi hienonustapa tuottaa murtopinnoiltaan omamuotoisempia ja rakeisempia kiteitä ja partikkeleja, joissa esiintyy eri mineraalien raerajoilla kulkevia mikrohalkeamia (kuva 4). Murskauksen aikana syntyvä hienoaines on myös vähäisempää, ja energiakuutus murtuvaa pinta-alaa kohti on vain pieni osa perinteisten menetelmien energiatarpeeseen verrattuna.



KUVA 3. Havainnekuvasarja materiaalin murtumisen etenemisestä jatkuvatoimisen puristumurskaimen puristuspintojen välissä (kuva Niina Paasovaara).



KUVA 4. Jatkuvatoimisella puristumurskauksella tuotettujen kivipartikkelien ominaispiirteitä (kuva Niina Paasovaara).

HUGGER-projektin aikana saatuja tutkimustuloksia on esitelty kahdessa kansainvälisessä konferenssissa Ruotsin Luulajassa helmikuussa 2022 (Paasovaara ym. 2022) ja Ranskan Toulousessa kesäkuussa 2022 (Hartikainen ym. 2022). Tutkimustulokset julkaistaan vertaisarvioituina artikkeleina alan merkittävimmässä tieteellisissä lehdissä vuosien 2023 ja 2024 aikana, ja tutkimuksista on tekeillä myös kaksi väitöskirjatyötä.

Myrkyttömät rikastuskemikaalit

Vuoden 2022 lopulla OMS:n, UEF:n ja Xamkin yhteistyönä on alettu tutkimaan myrkyttömiä vaihtoehtoja kaivos- ja rikastusteollisuuden käytössä olevien myrkyllisten rikastuskemikaalien tilalle. Uusien myrkyttömien rikastuskemikaalien molekyyliaihioita etsitään lääketutkimuksen tuottamista molekyylikirjastoista sekä puu- ja kasviperäisten raaka-aineiden sivuvirroista. Erityisesti ksantaatit ovat eniten käytettyjä ja ympäristölle haitallisimpia rikastuskemikaaleja, joita käytetään yleisesti sulfidimalmien rikastamiseen vaahdotusprosesseissa (Bulatovic 2007; Fischer & Jarsjö 2023). Ksantaattien sekä muiden rikastuskemikaalien, kuten ditiofosfaattien, ditiokarbamaattien ja tionokarbamaattien, hajoamisessa tiedetään muodostuvan ympäristölle ja terveydelle haitallisia hajoamistuotteita (Fischer & Jarsjö 2023). Sulfidimalmit puolestaan ovat eniten louhittuja ja tärkeimpiä perusmetallien ja EU:lle kriittisten metallien lähteitä (Euroopan komissio 2020), ja siksi ne ovat tärkeä tutkimuskohde myös tässä tutkimuksessa.

Maailmalla on tehty tutkimuksia, joissa metsäteollisuuden sivuvirroista eristettyjä aineita, kuten selluloosaa ja hemiselluloosaa, on käytetty mineraalien vaahdotusrikastamisessa, mutta arvometallien saannot ovat jääneet liian alhaisiksi (Hartman ym. 2017, 2018). On myös huomattava, että näennäisen myrkytön kaupallinen tuote saattaa olla hajoamistuotteiltaan ympäristölle hyvinkin haitallista, mutta tästäkään ei ole vielä olemassa tarpeeksi tutkimustuloksia (Fischer & Jarsjö 2023).

Tähän mennessä tutkimuksessa on tunnistettu muutamia lääketutkimuksessa synetisoituja molekyylejä, joilla on potentiaalia toimia myös vaahdotusrikastuksessa tarvittavina kokoojakemikaaleina. Näitä molekyylejä on testattu systemaattisesti usean erityyppisen sulfidimineraalin kokoojakemikaaleina vaahdotusrikastusteissa. Tutkimustulokset osoittavat, että on mahdollista löytää uusia myrkyttömiä rikastuskemikaaleja, jotka toimivat yhtä tehokkaasti kuin kaupalliset myrkylliset vaihtoehdot. Tutkimustuloksia esitellään Etelä-Afrikassa marraskuussa pidettävässä vaahdotusrikastusta käsittelevässä kansainvälisessä konferenssissa (Hartikainen ym. 2023). Tarkemmat tutkimustulokset julkaistaan artikkeleina vertaisarvioituissa tieteellisissä lehdissä väitöskirjatutkimuksen osatoina.

Tulevaisuuden näkymät

Tutkimusyhteistyön seuraavassa vaiheessa on tarkoitus tutkia jatkuvatoimisella puristumurskauksella tuotettujen materiaalien vaahdotusrikastusominaisuuksia käyttämällä tutkimuksen tuloksena valikoituneita myrkyttömiä kokoojakemikaaleja. Vaahdotustesteissä käytetään myös kaupallisia kokoojakemikaaleja vertailun vuoksi. Tämä luo mahdollisuuden yhdistää vähäpäästöinen jatkuvatoiminen puristumurskaus myrkyttömiin vaahdotusrikastusprosesseihin, jolloin koko mineraalien rikastusprosessi saadaan kestävämmäksi. Jokaista materiaalia tarkastellaan aina tapauskohtaisesti ja etsitään kullekin materiaalityypille optimaalisimmat säätöasetukset energiatehokkaimman murskaustapahtuman toteutumiseksi sekä tarkastellaan, mikä jatkoprosessointitapa (vaahdotusrikastus, liuotus, kuivarikastus ym.) olisi kaikista tehokkain tapa irrottaa arvokkaat mineraalit ja metallit erilleen muusta materiaalista. Vaahdotusrikastuksen ja liuotuksen tapauksissa kemikaaleina käytetään myrkyttömiä vaihtoehtoja, jolloin luodaan kestävämpiä ratkaisuja tulevaisuuden kaivoksille. Syntyvät jätefraktiot ovat myrkyttömiä ja puhtaampia, jotka omalta osaltaan avaavat uusia mahdollisuuksia jätemateriaalien hyötykäytölle muussa teollisuudessa. Myös jätteiden loppusijoittaminen on turvallisempaa, ja lupakäsittelyt helpottuvat myrkyllisten aineiden jäädessä pois prosessista.

LÄHTEET

Bulatovic, S.M. 2007. Handbook of Flotation Reagents: Volume 1: Flotation of Sulfide ores. Elsevier, Amsterdam.

Euroopan komissio, Sisämarkkinoiden, teollisuuden, yrittäjyyden ja pk-yritystoiminnan pääosasto, Bobba, S., Carrara, S., Huisman, J., Mathieux, F., Pavel, C. 2020. Critical raw materials for strategic technologies and sectors in the EU: a foresight study. Publications Office. Saatavissa: <https://data.europa.eu/doi/10.2873/58081> [viitattu 26.10.2023]

Fischer, S. & Jarsjö, J. 2023. Flotation chemicals at Swedish mines: Review of their potential environmental impact. Naturvårdsverket [WWW-lähde]. Saatavissa: <https://urn.kb.se/resolve?urn=urn:nbn:se:naturvardsverket:diva-10504> [viitattu 26.10.2023]

Hartikainen, S., Peräniemi, S., Hynynen, I., Kuopanportti, H., Luukkanen, S., Yang, S. & Paasovaara, N. 2022. Comminution of lithium bearing spodumene pegmatites in a Huggel Crusher based on a free crushing method. In: 17th European Symposium on Comminution & Classification (ESCC 2022) 27-29 June 2022, Toulouse, France.

Hartikainen, S., Paasovaara, N., Peltoniemi, M., Vepsäläinen, J., Peräniemi, S. & Yang, S. 2023. Synthesized bisphosphonates as non-toxic collectors in the flotation of massive Cu-Zn-Fe sulphide ore. In: The 11th International Flotation Conference (Flotation '23) 6-9 November 2023, Cape Town, South Africa.

Hartmann, R., Kinnunen, P. & Illikainen, M. 2018. Cellulose-mineral interactions based on the DLVO theory and their correlation with flotability. Minerals Engineering, 122, 44–52. Saatavissa: <https://doi.org/10.1016/j.mineng.2018.03.023> [viitattu 26.10.2023]

Hartmann, R., Rudolph, M., Ämmälä, A. & Illikainen, M. 2017. The action of cellulose-based and conventional flotation reagents under dry and wet conditions correlating inverse gas chromatography to microflotation studies, In Minerals Engineering, Volume 114, 2017, Pages 17-25, ISSN 0892-6875. Saatavissa: <https://doi.org/10.1016/j.mineng.2017.09.004>. [viitattu 26.10.2023]

Kuopanportti, H. & Hynynen, I. 2020. Apparatus and method for comminuting of material. US patent US 10,857,545, B2.

Paasovaara, N., Hartikainen, S., Peräniemi, S., Hynynen, I., Kuopanportti, H., Luukkanen, S. & Yang, S. 2022. Hugger Comminution Based on Free Crushing Method. In: Conference in Minerals Engineering, 8 - 9 Feb. 2022, Luleå University of Technology, Luleå, Sweden.

YLI 20 VUOTTA HIILIDIOKSIDIN TEOLLISUUSKÄYTTÖÄ: ESIMERKKI ONNISTUNEESTA TKI-YHTEISTYÖSTÄ

Pertti Koukkari

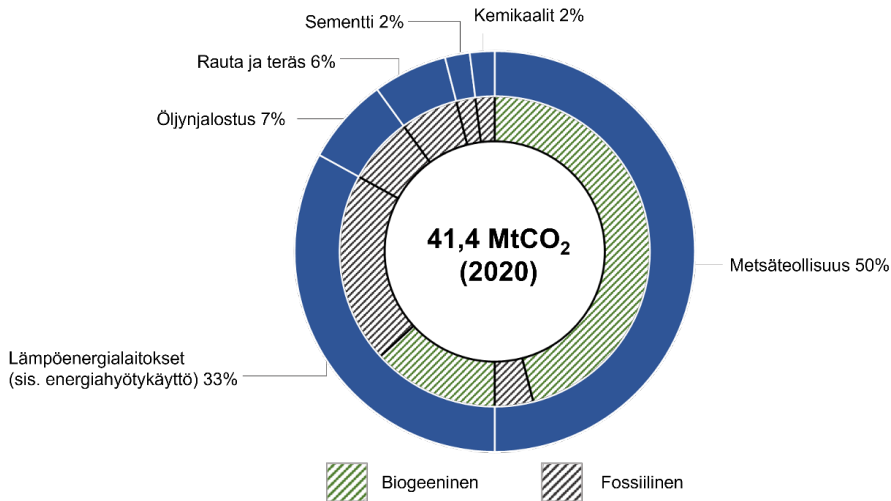
Jätevirta hyödykkeeksi

Hiilidioksidi on historiallisesti ollut huomaamaton – hajuton ja väritön – sivuvirta, jota syntyy runsaasti teollisen hiilenkäytön tuloksena. Toisin kuin kiinteät tai nestemäiset jätevirrat, se on totuttu vuosikymmenien kuluessa päästämään vapaaksi ilmakehään. Se on myös kemiallisesti hyvin stabiili, joten sen uudelleenkäyttöä ja kierrätystä takaisin prosessiin on yleensä pidetty hyvinkin haastavana eikä asian vaatiman vaivan ja energiapanostusten arvoisena. Viime vuosikymmenien globaali kehitys ja kiistattomat tiedot hiilidioksidin aiheuttaman lämpöabsorption vaikutuksesta ilmastoon ovat muuttaneet tilanteen.

Materiaalivirtojen kierrätys ei teollisuudessa tietenkään ole uutta eikä mitenkään vieras ajatus. Suljetut kierrot ovat olleet julkilausuttu tavoite jo ainakin puolen vuosisadan ajan, ja ne on monelta osin voitu myös toteuttaa. Raakaveden käyttö metsäteollisuudessa on hyvä esimerkki, ja yksikkövedenkulutus on esimerkiksi sellunvalmistuksessa kierrätysratkaisujen ansiosta pienentynyt kolmanteen osaan 1980-luvun tasosta. Jätevesien puhdistus on myös kehittynyt siten, että tehtaat täyttävät kuluneina vuosikymmeninä huomattavasti tiukentuneet päästönormit. Käytetty vesi palautetaan vesistöihin, joiden laatu luokitellaan edelleen Järvi-Suomessakin joko tyydyttäväksi tai hyväksi.

Biomassasta peräisin oleva biogeeninen hiilidioksidi toki veden tavoin palautuu luonnonkiertoon. Se kuitenkin voi palvella kiertotaloutta ja ilmastotavoitteita myös siten, että sillä korvataan fossiilisen hiilen käyttöä siellä, missä tämä on mahdollista. Suomessa biogeenistä hiilidioksidia syntyy vuosittain 24 miljoonaa tonnia, mikä on lähes puolet maamme nettopäästöistä (60 % teollisuussektorin päästöistä, kuva 1) (Kujanpää ym. 2023). Biogeenisellä hiilellä raaka-aineeksi muutettuna voisi siten olla merkittävä vaikutus teknisenä hiilinieluna, toisin sanoen käytössä, joissa nykyinen fossiilishiilen päästöjä muodostava käyttö korvautuu päästöttömästi tuotetulla bioperäiseen hiileen perustuvalla tekniikalla. Biogeenisen

hiilidioksidin talteenotto on kansainvälisesti voimakkaassa kasvussa, ja sen on arvioitu 40–50-kertaistuvan nykyisestä 2030-luvun alkuun mennessä.



KUVA 1. Fossiiliset ja biogeeniset hiilidioksidipäästöt teollisuussektoreittain Suomessa vuonna 2020 (kuva mukailen Kujanpää ym. 2023).

Maamme metsäteollisuudessa hiilidioksidin käyttö ei kuitenkaan ole uutta, vaan se on palvellut sekä raaka- että apuaineena kuitulinjoilla ja paperin valmistuksessa jo vuosituhanen vaihteesta lähtien. Myös Kuitulaboratoriolle ja sen yhteistyökumppaneille on vuosien varrella kertynyt runsaasti kokemusta hiilidioksidin käsittelystä ja hyödyntämisestä. Yhteistyön moottoreina ovat olleet usein yritysten keskuudessa syntyneet innovaatiot, joita on kokeellisesti tutkittu Kuitulaboratorion tarjoamassa kehitysympäristössä. Uusien tekniikoiden edellyttämää konseptikehitystä on edelleen tuettu VTT:ssä kehitetyillä monifaasikemian laskentamalleilla.

Paperinvalmistuksen neutraalikonversio ja yhdistetty pH-alkaliteettisäätö hiilidioksidin avulla

Puupohjaisten paperien valmistuksessa tapahtui vuosituhanen vaihteessa merkittävä muutos, kun happamista, pH-arvoltaan 5–6 alueella toimineista perälaatikoista siirryttiin lähes neutraaliin paperinvalmistukseen. Syitä muutokseen olivat sekä kierrätysmassojen lisääntyminen että täyteaineissa tapahtunut siirtymä happamuutta kestävien kaoliinien käytöstä kalsiumkarbonaattiin. Kaoliinisavien niukentunut saatavuus ja kohonnut hinta oli 1990-luvun puolivälistä lähtien johtanut siihen, että noin kymmenessä vuodessa CaCO_3 -käyttö oli lähes kaksinkertaistunut.

Paperinvalmistuksessa esiintyi kuitenkin useita happamuuden lähteitä, jotka pH:n laskun seurauksena aiheuttivat CaCO_3 :n liukenemistä. Mekaaniset massat ovat luonnostaan happamia, ditioniittivalkaisu tuo mukanaan happamia jätteitä ja mikrobiologinen aktiivisuus aiheuttaa happamuutta. Kun kierrätysmassoja oli käytössä, emäksinen sulppu käsiteltiin vahvalla hapolla ja siten sen sisältämä karbonaatti liukeni jopa peräkkäisten pH-shokkien tuloksena.

Muuttuvat pH-arvot ja niiden myötä vaihtelevat kalsiumtasot aiheuttivat epätaisaista ajoa, erilaisia prosessihäiriöitä ja laatuongelmia, kuten vaahtoamista sekä kolloidi- ja kipsisaostumia. Oli siten tärkeää löytää ajotapoja, joilla märän pään pH-arvot voitiin puskuroida lähes neutraalitasoon samalla, kun estettiin kalsiumin liukeneminen.

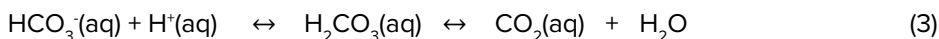
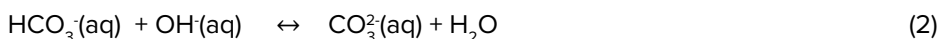
Ratkaisu löydettiin korvaamalla vahvojen happojen käyttö hiilihapolla ja kehittämällä edelleen hiilidioksidilisäyksiin perustuvia puskurointimenetelmiä, joilla taositettiin märän pään kemiallisen tilan vaihtelut.

Puskuroidun prosessin pH ei vaihtele pienten happo- tai emäslisäysten tuloksena. Vaikka kalsiumkarbonaatin liukeneminen sellaisenaankin estää pH-muutosta kuluttamalla happoa, tavoitteena oli puskuroida suspensio siten, että karbonaatin liukenemistä ei tapahtunut.

Tähän tulokseen päästiin kontrolloimalla karbonaattialkaliteettiä, jonka määrittelee seuraava yhtälö:

$$\text{alkaliteetti} = [\text{HCO}_3^-] + 2[\text{CO}_3^{2-}] + [\text{OH}^-] - [\text{H}^+] \quad (1)$$

Karbonaatin käyttö auttaa puskuroimaan liuoksen pH-tason sekä happo- että emäslisäyksen suhteen. Tyypillisessä neutraalissa kalsiumkarbonaattia käyttävässä paperinvalmistusprosessissa alkaliteetti määräytyy bikarbonaatti-ionin konsentraation perusteella. Puskuroivat reaktiot on kuvattu alla:



Puskuroidussa prosessissa ajo pyrittiin suorittamaan siten, että alkaliteettitaso muodostui riittäväksi kompensoimaan massan laadun vaihtelusta seuraavat happolisäykset. Samalla CaCO_3 :n liukeneminen estyy kasvaneen karbonaattitason ansiosta niin sanotun yhteisen ionin (common ion) lisäyksen tuloksena. Paperinvalmistajat olivat käyttäneet jauhemaista natriumbikarbonaattia (NaHCO_3) tai natriumkarbonaattia (Na_2CO_3) tähän tarkoitukseen, mutta niiden käytön ongelmaksi oli koettu syöttökohdan kohonnut pH-arvo.

Vaihtoehdoksi muodostui bikarbonaattitason säätely käyttämällä pH-säädettyä ja paikan päällä valmistettua hiilidioksidia ja natriumlipeää (NaOH) sisältävää puskuriliuosta. Menetelmän kehittäminen ja patentointi perustuivat UPM:n ja Linde Gas Oy:n (Oy AGA Ab) vuosituhatosen vaihteessa käynnistämään yhteistyöhön. Vaihtuviin sovelluksiin syntyi erilaisia tavaramerkkejä (CODIPT™, ACU™, ADALKA™). Merkittävänä apuna käytännön innovaatioille olivat myös VTT:n piirissä 1990-luvun lopussa kehitetyt, kuitususpensioiden oman kemiallisen aktiivisuuden huomioivat ChemSheet-laskentamenetelmät (Koukkari ym. 2002b).

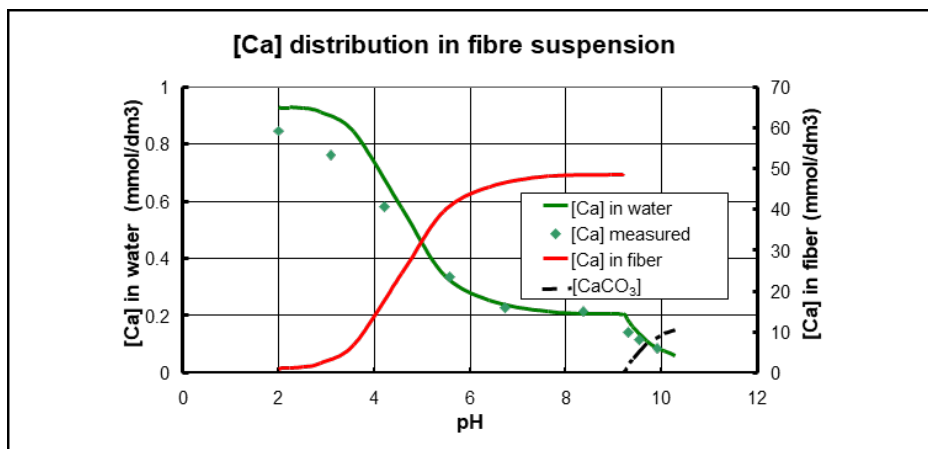
Kuitususpensioiden monifaasimallit kehityksen tukena

VTT:n uusien laskentatekniikoiden perustana olivat 90-luvulla kansainvälisesti yleistynyt kemiallisten tasapainojen määrittäminen osaslajien (ionien ja yhdisteiden) muodostumis-Gibbsin energioiden minimistä ja tähän menetelmään lisätyt fysikaalisesti perustellut matriisirajoitukset. VTT:n piirissä useina väitöskirjatutkimuksina toteutettu rajoitinmenetelmien kehittäminen mahdollisti esimerkiksi dynaamisia tilanmuutoksia määräävien reaktioiden aikariippuvuuden (kinetiikan) tai erilaisten käytännön tilanteissa esiintyvien osatasapainojen sisällyttämisen perinteisesti vain staattisille globaalitasapainoille sovellettuun minimointilaskentaan.

Kuitususpensioiden prosessikemian kannalta tärkeätä on kyetä määrittämään kuidun itsensä sisältämän vesifaasin, kuitua ympäröivän vesiliuoksen sekä edelleen läsnä olevien kaasu- ja saostuvien kiintoaasien kokonaisuus laskentamallia varten. Kuidun absorboima vesi samoin kuin kuidussa kiinni olevat happo- ja fenyyli-ryhmät on tarpeen kvantifioida ja ne pitää laskentamatriisissa erottaa muusta systeemistä. Mallissa tarvitaan siis kaksi kuituseinämän toisistaan erottamaa vesiliuosta, jotka vuorovaikuttavat mutta eivät sekoitu keskenään. Kuidun vesiarvo voidaan kokeellisesti määrittää WRV-arvona (water retention value) ja happoryhmät tunnistetaan ja niiden määrä kuidun kuivapainoa kohti saadaan esimerkiksi potentiometrasta titrausta käyttämällä.

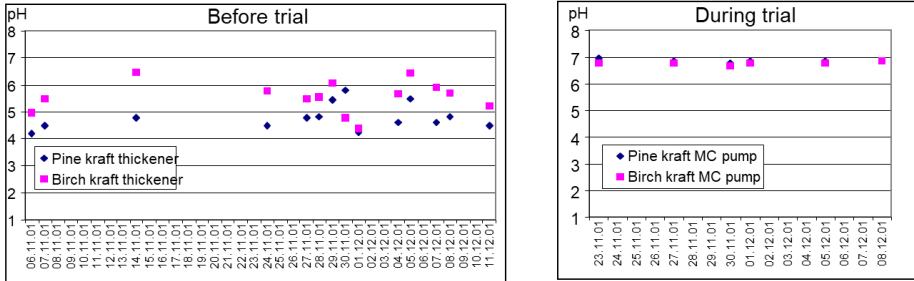
Näiden määritysten avulla matriisirajoitettuun tasapainolaskentaan voidaan antaa syötteinä sekä kulloisenkin kuidun ominaisuudet (WRV-arvo, happoryhmien määrä ja vastaavat happovakioarvot) että kemikaalien syöttöarvot (CO_2 , NaOH, CaCO_3 jne.). Tämän jälkeen voidaan soveltaa vapaaenergielaskentaa normaalisti minimoimalla systeemin Gibbsin energia (Koukkari ym. 2002a). Tuloksena saadaan kemiakuvaus koko kuitusysteemille ja tilanmuutoksia voidaan seurata esimerkiksi pH:n tai kalsiumpitoisuuden funktiona. Kuvassa 2 esitetty tyypillinen esimerkki kuitususpension pH-riippuvasta ioninvaihtoilmioistä. Kun suodoksen pH-arvo nousee, kuidun sisäiset happoryhmät vähitellen ionisoituvat ja vetyioneja siirtyy

ulkupuoliseen liuokseen. Kuidun sisäisen negatiivisen varauksen kompensoimiseksi suodoksen sisältämät kationit siirtyvät vastaavasti kuidun sisäiseen liuokseen (Pajarre ym. 2006).



KUVA 2. Esimerkki kuitususpension monifaasilaskennasta: kalsium-jakautuma kuidun sisältämän ja ulkoisen vesifaasin välillä ulkoisen liuoksen pH-arvon funktiona (kuva Pertti Koukkari).

Termodynaamisen laskentamenetelmän etuna on sen skaalautuvuus. Termodynaamisia tilansuureita laskentaperusteena käytettäessä prosessin mittasuhteilla ei ole merkitystä: mikä pätee laboratoriossa, toimii myös teollisuusmitassa. Kuvassa 3 on esitetty tapaus, jossa ChemSheet-laskennan avulla määritettyä prosessikemiaa käytettiin CO₂-bikarbonaattipuskuroinnin mitoitukseen toteutettaessa koeajo paperitehdasintegraatilla, jossa mänty- ja koivusellua sisältäneet massat olivat happamia (pH 4–6). Tehdas toimi neutraalilla pH-alueella käyttäen jauhetta (GCC) ja saostettua (PCC) kalsiumkarbonaattia täyteaineina. Kolmeviikkoisen koeajon aikana bikarbonaatti tehtiin paikan päällä lipeästä ja hiilidioksidista ja syötettiin tehtaalle tuleviin massoihin simulointilaskelmien perusteella. Kokeen aikana sulfaattimassan pH stabiloitui tasolle 7 ja liuenneen kalsiumin pitoisuudet lyhyessä kierrossa vähenivät noin 30 prosenttia. Prosessin ajettavuus oli erittäin hyvä, samoin tuotelaatu säilyi. (Weaver ym. 2002, Kalliola ym. 2008.)



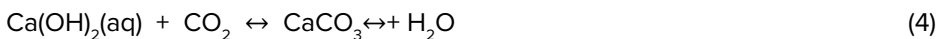
KUVA 3. Paperikoneen pH-aikasjarjat ennen ja jälkeen hiilidioksidia hyödyntävän puskuroinnin avulla suoritettua koeajoa (kuva mukaillen Kalliola 2008).

Hiilidioksidia ja lipeää hyödyntävä karbonaattipuskurointi mahdollisti samanaikaisen pH- ja alkaliteettitasojen hallinnan paperikoneen lyhyessä kierrossa. Liuoksesta syötettävän puskuriseoksen koostumus oli helposti vaihdeltavissa, ja monissa tapauksissa muista pH:n säätökemikaaleista (kuten rikkihaposta tai joskus käytettyä alunasta) voitiin luopua. Hiilidioksidiin ja lipeään perustuvaa tekniikkaa oli 2000-luvun alkuvuosina sovellettu jo kymmenillä paperitehtailla Euroopassa ja Pohjois-Amerikassa.

Hiilidioksidin reaktiodynamiikka In-Line PCC™:n valmistuksessa

Samanaikaisesti neutraalikonversion etenemisen kanssa oli 2000-luvun ensimmäisellä vuosikymmenellä edennyt maailmalle myös toinen suomalainen innovaatio, joka perustui retentiokemikaalien tehokkaampaan sekoitukseen masavirrassa. Uusi tekniikka yhdisti konesyötön oman prosessinesteen käytön painesuuttimien avulla toteutettuun kemikaalisyyttöön ja vähensi siten sekä veden käyttöä että prosessikemikaalien kulutusta merkittävästi. Vuoteen 2010 mennessä oli vuonna 2001 perustettu Wetend Technologies asentanut tuhat TrumpJet®-sekoitinta yli 300 sekoitusasemaan paperi- ja kartonkitehtaissa 20:ssä eri maassa ja ansainnut muun muassa tasavallan presidentin myöntämän InnoSuomi-palkinnon (Matula 2011).

Kalsiumkarbonaatin käytön yleistyessä nähtiin mahdollisuus yhdistää TrumpJet-sekoituksen tehokkuus ja muut edut myös täyteainelisäykseen. Jauhettu kalsiumkarbonaatti (GCC) oli pääosin korvautunut paremman retention omaavalla hienojakoisella saostetulla karbonaatilla (PCC), joka valmistetaan tehtailla tyypillisesti saostusreaktoreissa kalkkimaidon ja hiilidioksidin välisellä reaktiolla:



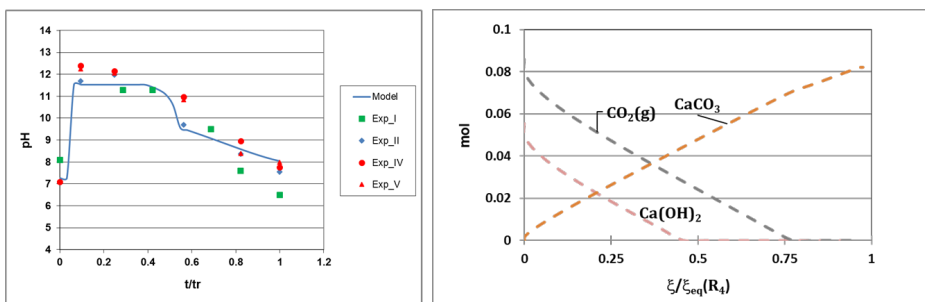
Syntynyt kiinteä karbonaatti syötetään saostusreaktorista PCC-lietteenä konevirtaan. TrumpJet-tekniikan avulla oli mahdollista taas hyödyntää syötössä konevirrasta otettua prosessinestettä ja suorittaa saostusreaktio koneen nousuputkessa, mikä olisi omiaan edelleen vähentämään veden tarvetta prosessissa. Lisäksi in-line-reaktio edesauttaa täyteaineen retentiota saostuvan karbonaatin ydintyessä suoraan kuitupinnoille. Haasteena oli kaasun käyttö putkilinjastossa ja syöttö kokenemassaan siten, että se saataisiin täysin reagoimaan kiinteäksi karbonaatiksi.

Ilmiön laskennallisessa hallinnassa käytettiin taas matriisirajoittimiin perustuvaa termodynamiikkaa, kohteena nyt hiilidioksidin liukenemisen ja kalsiumkarbonaatin saostumisreaktion vaikutusten tarkkailu lyhyen kierron nousuputkessa. Pilot-koheet oli suoritettu noin 10 kg/h PCC-kapasiteetin putkireaktorissa, josta oli mahdollista ottaa näytteitä pH-arvojen määrittämiseksi kuudessa eri pisteessä. Niiden perusteella laadittiin laskennallinen malli, jolla seurattiin reaktiovaiheiden etenemistä. Kirjallisuuden perusteella valittiin todennäköinen reaktiomekanismi taulukon 1 mukaisesti.

TAULUKKO 1. Kalsiumkarbonaatin in-line-saostuksen reaktiomekanismi (eq – nopea tasapainoreaktio; kin – kineettisesti rajoitettu reaktio)

$\text{Ca(OH)}_2(\text{s}) \leftrightarrow \text{Ca}^{2+}(\text{aq}) + 2\text{OH}^-(\text{aq})$	(R ₁) eq
$\text{CO}_2(\text{g}) \rightarrow \text{CO}_2(\text{aq})$	(R ₂) kin
$\text{CO}_2(\text{aq}) + 2\text{OH}^-(\text{aq}) \leftrightarrow \text{CO}_3^{2-}(\text{aq}) + \text{H}_2\text{O}$	(R ₃) eq
$\text{Ca}^{2+}(\text{aq}) + \text{CO}_3^{2-}(\text{aq}) \rightarrow \text{CaCO}_3(\text{s})$	(R ₄) kin

Reaktion lähtöaineet kalsiumhydroksidi ja hiilidioksidi syötetään reaktoriin lähes stoikiometrisessä suhteessa, jolloin edellä mainittujen reaktiovaiheiden kokonaisreaktio tulee samaksi kuin edellä esitetty PCC:n muodostumisreaktio. Keskeisenä oletuksena mallissa on se, että kokonaisreaktion nopeutta rajoittavat erityisesti hiilidioksidin liukeneminen ja lopulta varsinainen saostumisreaktio (Koukkari ym. 2018). Kaikki muut liuosreaktiot, joita kuvaavat esimerkiksi yllä esitetyt bikarbonaattiprosessit (2) ja (3), oletettiin monikomponenttimallissa tasapainoreaktioiksi.



KUVA 4. Tuloksia in-line-karbonaattisaostuksen pilot-reaktorille laaditusta ChemS-heet-mallista. Vasemmalla lasketut ja mitatut pH-arvot pilot-reaktorin suhteellisen viipymääjan (t/tr) funktiona. Oikealla reagenssien kulutus ja PCC:n muodostuminen saostumisreaktion (R_4) suhteellisen etenemisasteen funktiona. Koetulokset perustuvat Kuitulaboratoriossa suoritettuihin pilot-mittauksiin. (kuva Pertti Koukkari)

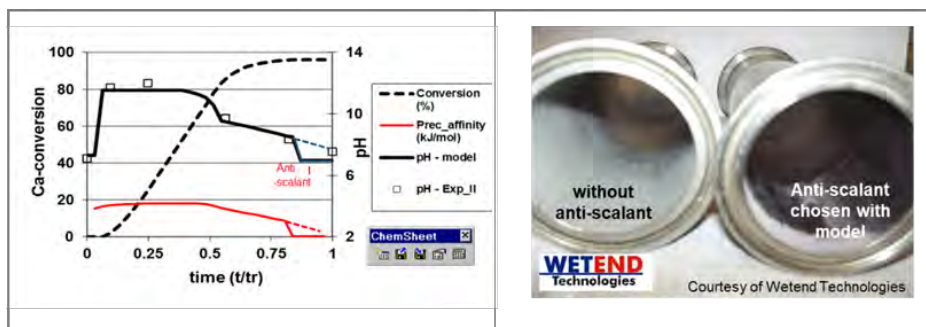
Kuvassa 4 on esitetty tyypillisiä laskentatuloksia. Mallin pH-käyrä noudattaa mitattuja pH-arvoja ja osoittaa, että hiilidioksidin liukeneminen tapahtuu täydellisesti reaktorin viipymääjan (tr) puitteissa. Oikeanpuoleisessa kuvassa on seurattu kalsiumhydroksidin, kaasuna syötetyn hiilidioksidin ja syntyvän kalsiumkarbonaatin moolimääriä reaktion (R_4) etenemisasteen (ξ) funktiona. Syötön $Ca(OH)_2$ ja CO_2 kuluvat täydellisesti, ja $CaCO_3$:n muodostuminen johtaa vähitellen etenevän saostumisreaktion kautta lopulliseen tasapainotilaan. In-line-konsepti siis osoittautui toimivaksi ja on ollut osa TrumpJet-tuoteperhettä jo yli kymmenen vuoden ajan.

Saostumisreaktion kontrolli puskuriseoksen avulla

Kuvasta 4 voitiin päätellä, että $CaCO_3$:n saostumisreaktio ei ole saavuttanut systeemissä tasapainoa viipymän tr kuluessa. Tässä vaiheessa pH on kuitenkin jo lähellä neutraalia, jossa reaktiossa (R_4) vaadittavaa karbonaattiasoa ja tasapainoja kontrolloivat samat puskurointireaktiot (2) ja (3) kuin edellä kuvatussa $CaCO_3$:n liukenemistapauksessa. Siten on ilmeistä, että vastaavalla CO_2 -bikarbonaatti-puskuriseoksella voitaisiin toteuttaa myös mahdollisesti tarvittava in-line-prosessin saostumanesto.

Puskurointikonseptin toimivuutta voidaan simuloida käyttämällä dynaamista monifaasimallia siten, että edellä mainittu epästoikiometrinen bikarbonaattiliuos (CO_2 /NaOH-liuos) huomioidaan mallin syötteenä. Termodynaamisen mallin erityinen etu on se, että tilansuureiden käyttö mahdollistaa laajan reaktiivisen systeemin tarkastelun yhdisteiden muodostumisenergioista (ns. kemiallisista potentiaaleista) muodostuvien reaktioaffiniteettien kautta. Affiniteetti (i. reaktion ajava voima) on kunkin reaktion lähtöaineiden ja tuotteiden potentiaalien erotus ja siten tasapainossa sen arvo kullekin reaktiolle nolautuu.

Kuvassa 5 on simuloitu puskuriliuoksen lisäyksen vaikutusta käyttäen dynaamista ChemSheet-mallia. Yhtenäinen pH-käyrä kuvaa vastaavaa reaktion etenemistä kuin kuvan 4 tapaus ja alempi (punainen) käyrä saostumisreaktion affiniteettia. Pieni määrä puskuriseosta on lisätty liuoksena lopun hitaan reaktion alueelle, jolloin saostumisaffiniteetti laskee nolnaan ja pH saavuttaa nopeasti tasapainon. Oikeanpuoleisessa kuvassa on vastaavalla seoksella suoritettun pilot-koeajon näyteputki kuvattuna ilman puskuria ja sitä käyttäen suoritetuissa koeajoissa.

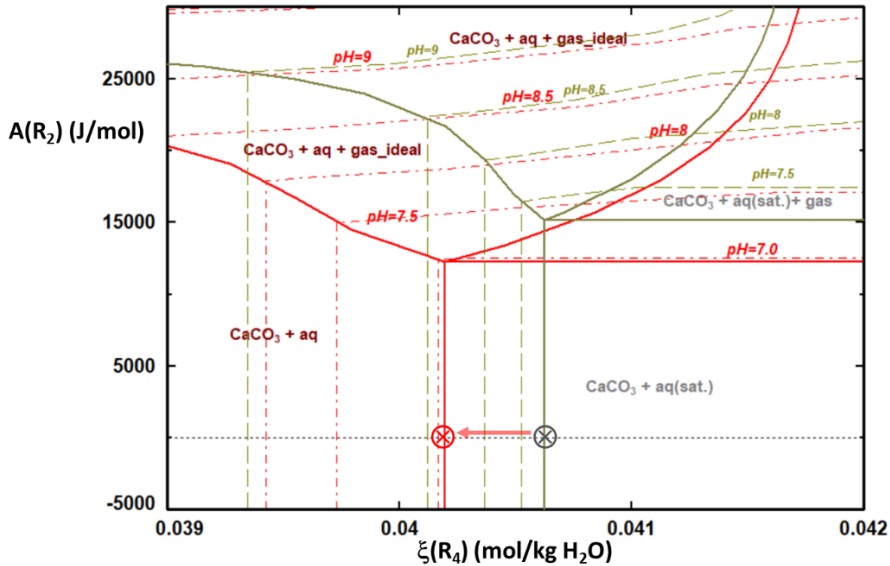


KUVA 5. Saostumisreaktion affiniteetin mallintaminen ja käyttö CO_2 -bikarbonaattipuskurin avulla toteutetussa saostumanestossa (kuva Wetend).

Mallikehityksen kannalta on mielenkiintoista myös tarkastella vaihtoehtoisten tasapainojen (puskuri – ei puskuria) muodostumista uudentyyppisen, osittaistasapainoja kuvaavan faasidiagrammin avulla. Faasidiagrammeissa eli tasapainopiirroksissa käytetään yleensä muuttujina termodynaamisia potentiaalisuureita sekä systeemin komponenttien ainemääriä ja ne on perinteisesti laadittu staattisille tasapainotiloille. VTT:llä kehittämämme matriisitekniikka mahdollistaa kuitenkin myös osittaisten tasapainojen kuvaamisen faasidiagrammeina silloin, kun systeemi on yhden tai kahden hitaan reaktion rajoittama. Diagrammin riippumattomina akselimuuttujina voivat näin olla myös hitaiden reaktioiden affiniteetit sekä reaktion etenemisasteen (mooli)määrät. Kuten edellä kuvatussa dynaamisessa ChemSheet-mallissa, kaikki muut reaktiot saavuttavat tällöin keskinäisen osittaitasapainon ja diagrammi kuvaa siis faasi- ja koostumusaluetta, joka on tunnetun reaktiokinetiikan puitteissa mahdollinen.

Kuvassa 6 esitetty diagrammi kuvaa edellä esitetyn in-line-saostumisprosessin loppuvaiheen tasapainojen siirtymistä, kun puskuria on käytetty (punainen väri) ja kun sitä ei ole reaktioseoksessa (harmaa). Diagrammin akselimuuttujat ovat CO_2 -liukenemisen (reaktio R_2) affiniteetti ja saostumisreaktion (R_4) etenemisaste (mol/kg H_2O). Liuoksessa vallitsevat pH-arvot on esitetty iso-pH-käyrinä (katkoviivat). Puskurilisäys siirtää CaCO_3 -liukoisuusrajaa vasemmalle, ja samalla pH muuttuu likimain neutraaliksi: Vaikka pH laskee lisätyn CO_2/NaOH -seoksen vaikutuksesta, liuoksen Ca-pitoisuus ei merkittävästi nouse, sillä sen liukoisuutta

rajoitetaan samalla edellä mainitun common ion efektin kautta eli yhteisen anionin (karbonaatti) vaikutuksen tuloksena. Siirrokseen vaaditun puskurin määrä on varsin pieni, noin 0,5 prosenttia prosessiin syötettyjen hiilidioksidin ja kalkkimaidon määrästä.



KUVA 6. Kuvan 5 saostumisreaktioiden loppuvaiheen kuvaus affiniteetti-etene-
misaste-diagrammin avulla. Vaakasuora pisteiviiva arvolla $A(R_2) = 0$ vastaa tilan-
netta, jossa hiilidioksidin liukeneminen on päättynyt ja vain liuosreaktiot jatkuvat.
Saostumanestopuskurin avulla toteutettu lopputasapaino on esitetty punaisten
faasirajojen avulla. Nuoli kuvaa CaCO_3 -liukoisuuden muutosta puskuriliuoksen vai-
kutuksesta samalla, kun liuos neutraloituu ($\text{pH} \sim 6,9$). Harmaat faasirajat ja iso-pH-
käyrät kuvaavat liuosta ilman CO_2 -bikarbonaattipuskuria. (kuva Pertti Koukkari)

Hiilidioksidin talteenoton ja uudelleenkäytön mahdollisuudet

Paperikoneympäristön lisäksi metsäteollisuus käyttää hiilidioksidia myös esimerkiksi niin sanotun suovan palstoituksessa, kun sellun valmistuksen yhteydessä suoritetaan mäntyöljyn talteenotto. Hiilidioksidilla toki on myös itsenäiset monipuoliset kulutusmarkkinat: Suomessa vuonna 2022 yli 20 miljoonaa euroa (Tilas-tokeskus) ja hyvin erilaisia käyttösovelluksia ulottuen juomateollisuudesta ja muun muassa elintarvikepakkausten käyttämästä suojakaasusta palonestoaineisiin ja metallurgisiin karbonaattisaostuksiin. Globaalilla tasolla hiilidioksidin nykykäyttö koostuu kuitenkin määräävästi ureasynteesisistä (130 Mt/v) sekä öljynporauksen tehostamisesta (70–80 Mt/v). Myös kasvihuoneviljely on kasvava puhtaan hiilidioksidin hyötykäyttäjät. (Kujanpää ym. 2023)

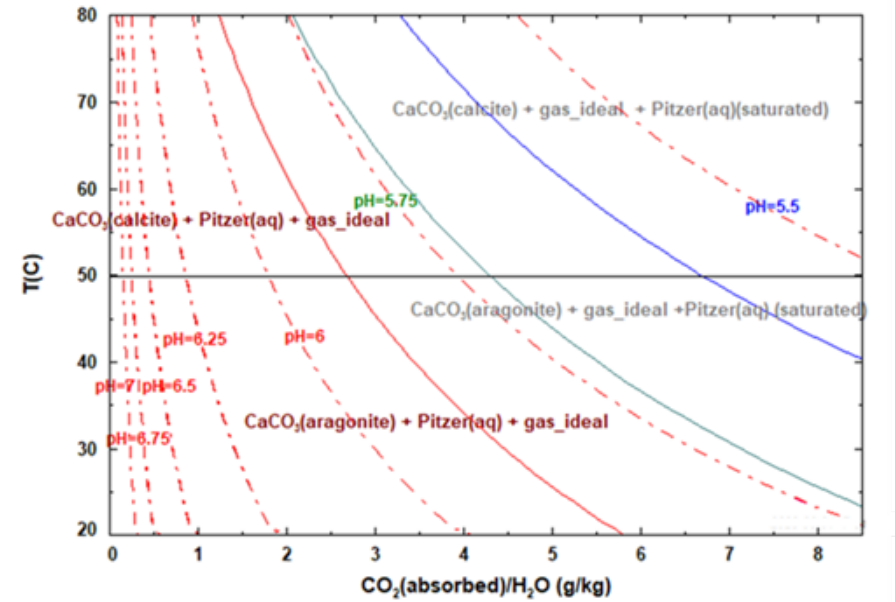
Tulevaisuuden vetytalouden kannalta lisääntyvä mielenkiinto kohdistuu hiilidioksidin esimerkiksi metaani- tai metanolisynteesin ja näitä seuraavien Fischer-Tropsch-vaiheiden raaka-aineena. Nämä niin sanotut P2X-sovellukset tähtäävät E-fuel-polttoaineiden sekä muiden kemiallisten tai muovituotteiden valmistukseen, joissa lähtöaineena käytettäisiin mieluiten biogeenistä hiilidioksidia.

Suomessa biogeenisen hiilidioksidin osuus on noin 60 prosenttia teollisista hiilidioksidipäästöistä (kuva 1), joten potentiaali on merkittävä myös P2X-käyttöä ajatellen (liikenteen päästöt Suomessa ovat noin 10 Mt CO₂ vuodessa). Maamme metsäteollisuudessa syntyy biogeenistä hiilidioksidia noin 20 Mt/vuosi noin 20 laitoksesta, joten keskimääräinen luku on 1 Mt/vuosi. Lähteistä tärkeimmät ovat sooda- ja kuorikattilat sekä meesauunit. Muita pistelähteitä ovat biomassaa käyttävät lämpövoimalat, biokaasulaitokset ja esimerkiksi juomateollisuuden fermentointiyksiköt, joista osin jo nykyinen CO₂-talteenotto tapahtuu.

Poistokaasuista tapahtuvaa hiilidioksidin talteenottoa on globaalisti kehitetty erityisesti maaperään tapahtuvaa CO₂-varastointia varten. Taltiointi voidaan toteuttaa eri menetelmillä, jotka perustuvat tyypillisesti absorptioon, kalvoerotukseen tai kemialliseen talteenottoon. Suomen oloissa poistokaasuista talteen otettu hiilidioksidi on kuitenkin mielekkäintä joko kierrättää prosessissa tai käyttää uudelleen P2X-yhdisteinä, sillä maaperävarastointi ei meillä ole mahdollista.

Kuitulaboratoriossa käynnistynyt CO₂-talteenoton tutkimus tähtää aiemman kokemuksen perusteella sovelluksiin, joissa hiilidioksidin hyödyntäminen erityisesti metsäteollisuuden lähteistä tulee teknis-taloudellisesti mahdolliseksi ja kierrätyskäyttö esimerkiksi edellä kuvatuissa paperi- ja kartonkivalmistuksen sovelluksissa toteutuu. Työ on hyvässä alussa, ja uusia talteenottokonsepteja on päästy laboratoriomitassa todentamaan. Samalla on edellä kuvattuja monifaasimalleja käytetty sekä koetoiminnan suunnittelussa että prosessikonseptien arvioinnissa.

Kuvassa 7 on esimerkkinä etenemisastediagrammi hiilidioksidin absorptiota kalsiumkarbonaattiliuokseen tarkasteltaessa Wetend Technologies Oy:n Smart-PCC-innovaatioita, joissa saostettu täyteaine valmistettaisiin suoraan jauhetusta CaCO₃:sta. Ehdotetussa Smart-PCC-menetelmässä prosessissa kiertävä hiilidioksidi liuottaa jauhetusta kalsiumkarbonaattista (GCC) Ca-bikarbonaattia korotetussa paineessa, ja se saostuu PCC-muodossa paineen laskiessa. Saostumisvaiheessa vapautuva CO₂ otetaan talteen ja palautetaan liuotuskiertoon. Kuvan 7 etenemisastediagrammissa mitattavien koesuureiden (pH-arvo, lämpötila) perusteella voidaan suoraan lukea liuokseen absorboituneen hiilidioksidin määrä myös epätasapainotilanteessa ja siten käyttää esimerkiksi taselaskennassa.



KUVA 7. Kalsiumkarbonaatin liukeneminen hiilidioksidiabsorption etenemisen funktiona H_2O - CO_2 - $CaCO_3$ -systeemissä. Absorboitunut CO_2 -määrä nähdään suoraan diagrammista seuraamalla liuoksen pH-arvoja. Liuoksen kyllästymisrajat 3, 5 ja 8 bar paineessa on esitetty yhtenäisten käyrien avulla: Iso-pH-käyrät esitetty 3 bar CO_2 -paineen mukaisina myös tätä painetta vastaavalla liukoisen karbonaatin ylikylläisyysalueella (pH-arvot 5,75 ja 5,5). (kuva Pertti Koukkari)

Biogeeninen hiilidioksidi osaksi kestävää kiertotaloutta

Kestävän kiertotalouden tavoitteena on synnyttää nykyisen avoimen, jätteitä synnyttävän teollisuustuotannon tilalle suljettuja ja jätteettömiä tuotesyklejä. Tällöin lisähaasteena on usein kierrätettävien materiaalien pienet volyymit ja alhaiset pitoisuudet. Metsäteollisuudessa syntyvien hiilidioksidivirtojen mittavuus kuitenkin antaa mahdollisuuden kehittää vaihtoehtoisia, biogeeniseen kiertoon perustuvia valmistustapoja ja arvoketjuja myös suurivolyymisille synteettisen kemian tuotteille.

Hiilidioksidin talteenotto savukaasuista ei nykyisellä kustannustasolla ja käytössä olevilla perinteisillä menetelmillä ole toistaiseksi ollut taloudellisesti kannattavaa. Uusilla, paikallisesti toteutettavilla kilpailukykyisillä tekniikoilla on siten tilausta, kun tähtäimessä on vaihtelevista lähteistä peräisin olevan hiilidioksidin hyödyntäminen.

Kuitulaboratorion ja sen yrityskumppanien joustava yhteistyöperinne on tuottanut varhaista kokemusta sekä hiilidioksidin talteenotosta että sen käyttömahdollisuuksista. Samalla on kertynyt sopivia haasteita mallintajille, jolloin uusia avauksia myös teoreettisella alueella on tarvittu ja niitä on voitu todentaa suoritetun koetoinnin avulla. Kehitystyö tarvitsee jatkossakin sekä uusia käytännön innovaatioita että laskennallista menetelmäkehitystä.

LÄHTEET

Kalliola, A., Pajarre, R., Koukkari, P., Hakala, J., Rimpinen, O., Nuortila-Jokinen, J. & Kukkamäki, E. 2008. Control of pH and calcium chemistry with multiphase modelling, in *Modelling and Simulation of Wet End Processes and Innovative Process Control*, (Kappen, J., Dietz, W. and Grenz, R., editors), Books on Demand GmbH, Munich, (2008), pp 77–88.

Koukkari, P., Pajarre, R. & Pakarinen, H. 2002a. Modeling of the ion exchange in pulp suspensions by Gibbs energy minimization, *Journal of Solution Chemistry*, Vol. 31 (2002) No: 8, 627–638.

Koukkari, P., Leino, H. & Pakarinen H. 2002b. Hiilidioksidi hyötykäyttöön paperikoneella, *Kemia-Kemi*, 29, (2002) No 3, 24–27.

Koukkari, P., Pajarre, R. & Kangas, P. 2018. Thermodynamic Affinity in Constrained Free Energy Systems, *Monatsh Chem* (2018) 149:381–394

Kujanpää, L. ym. 2023. Carbon dioxide use and removal, *Publications of the Government's Analysis, Assessment and Research Activities 2023:19*, Prime Minister's Office, Helsinki 2023.

Matula, J. 2011. Pioneeri-innovaatio perinteisen prosessikemian haastajana Kemiällä Kehityksen kärkeen, *Chem_Bio*, Helsinki 24.3.2011.

Pajarre, R. & Koukkari, P. 2006. Inclusion of Donnan Effect in Gibbs Energy Minimization, *Journal of Molecular Liquids*, Vol 125 (2006), 58–61.

Tilastokeskuksen maksuttomat tilastotietokannat 18.10.2023. Saatavissa: <https://pxdata.stat.fi/PxWeb/pxweb/fi/StatFin/search/?searchquery=Hiilidioksidin+valmistus>, [Viitattu 18.10. 2023]

Weaver, A., Kalliola, A. & Koukkari, P. 2002. A strategy for controlling pH and Ca hardness in paper making, *Scientific and Technical Advances in Wet End Chemistry*, Third Major Pira International Conference. Wien, 22–23 May 2002. Pira International (2002).

HIILIDIOKSIDILLA LISÄÄ TEHOA SEMENTIN HYDRATAATIOON

Elli Tykkä & Jukka Louko

Marraskuussa 2022 käynnistyneessä Betoni hiilinieluna – Ratkaisuja vähähiiliseen rakentamiseen -hankkeessa pyritään pienentämään betonin hiilijalanjälkeä aktiivisin keinoin. Behi-hanke toteutetaan Xamkin KymiLabs-tutkimusyksikössä, ja se jatkaa BECO-hankkeen aikana aloitettua tutkimusta ja laajentaa sitä. Hanke on Euroopan unionin osarahoittama. Rahoitus on myönnetty Kymenlaakson liiton myöntövaltuudesta, ja hankkeen toteutusaika on 1.11.2022–31.10.2024.

Tutkimusta vihreämmän tulevaisuuden puolesta

Betonirakentaminen on ympäristölle kuormittavaa, sillä betonin pääraaka-aineen, sementin, hiilijalanjälki on suuri. Sementin valmistamisen aikana ilmakehään vapautuu runsaasti hiilidioksidia klinkkerin poltosta, ja lisäksi valmistaminen vaatii energiaa, joka on vielä etupäässä uusiutumaton.

Behi-hankkeella pyritään vastaamaan näihin haasteisiin. Tavoitteena on saada sementintarvetta pienennettyä betonirakentamisessa. Lisäksi tutkitaan talteenotetun hiilidioksidin varastoimista pysyvästi betoniin mineralisoinnin kautta.

Hankkeen aikana on tarkoitus luoda betoniresepti, joka olisi mahdollisimman vähähiilinen. Betonin ominaisuudet eivät saa kuitenkaan kohtuuttomasti heikentyä hiilineutraaliuden tavoittelussa, joten resepti tulee optimoida ominaisuuksien ja ympäristöystävällisyyden suhteen. Tavoitteena on saada käyttökelpoinen betoni-resepti teollisuuden käyttöön.

Hankkeen tutkimus tehdään riittävän perusteellisesti, jotta tutkimustulokset ovat luotettavia. Tutkimuksen ensisijainen tavoite on varmentaa hiilidioksidin sitoutuminen betoniin ja validointiin käytetäänkin paljon resursseja. Tutkimusmenetelmiä ovat kirjallisuustutkimuksen lisäksi myös laboratoriokokeet, joita suoritetaan sekä KymiLabs-tutkimusyksikössä että ulkopuolisella toimijalla.

Laboratoriomittakaavasta teolliseen pilotointiin

Behi-hankkeen ensimmäisen osan tutkimus tehtiin laastimassoilla. Massat valmistettiin standardin SFS-EN 196-1:2016 mukaisesti ja niihin lisättiin hiilidioksidia sekoituksen aikana. Hiilidioksidin lisäksi tutkimuksen kohteena oli sementin korvaaminen masuunikuonalla. Massoja valmistettiin eri osasuhteilla ja verrattiin koetuloksia toisiinsa.

Laastimassoista tehtiin kalorimetria-analyysi isoteremisellä kalorimetrillä. Kovettuneesta laastista testattiin lujuusominaisuuksia KymiLabsissa. Lisäksi osa koekappaleista lähetettiin ulkopuoliselle toimijalle tutkittavaksi ja niille tehtiin termovaaka- ja röntgendiffraktioanalyysit hiilidioksidin sitoutumisen validoimiseksi.

Hankkeen toisen vaiheen kokeet suoritetaan betonille. Betonimassan sekaan lisätään hiilidioksidia niin ikään sekoituksen aikana. Koska betoninvalmistuksessa on enemmän muuttujia kuin laastinvalmistuksessa, tehtiin aiemmin mainitut tarkemat tutkimukset vain laastimassoille. Osa-aineet ovat kuitenkin toisiaan vastaavat, joten voidaan olettaa myös betonin kemiallisen matriisin olevan laastia vastaava.

Betoni valmistetaan standardin SFS-EN 480-1 menetelmän mukaisesti. Standardista poiketen sekoitusaika vaihtelee, sillä sekoituksen aikana lisätään massaansa hiilidioksidia. Kovettuneesta betonista testataan soveltuvien standardien mukaisesti puristuslujuus ja säänkestävyys KymiLabs-yksikössä. Kun tutkittavien koemassojen ominaisuudet saadaan halutulle tasolle, on tarkoitus pilotoida todellisessa ympäristössä betoniasemalla tai -tehtaalla.

Sementin reaktiot tuottavat lämpöä

Hydrataatio on veden ja sementin välinen kemiallinen ja fysikaalinen reaktio. Hydrataatio jaetaan neljään eri vaiheeseen: alkuvaihe, lepovaihe, kiihtyvä vaihe ja hidastuva vaihe. Hydrataation eri vaiheissa muodostuu lämpöä, jota voidaan seurata kalorimetrin avulla. (Virola ym. 2000)

Alkuvaihe käsittää ensimmäiset minuutit, kun sementti joutuu kosketuksiin veden kanssa. Tämän aikana sementtipartikkelien päälle muodostuu suojaava hydraatikerros, jolloin alun nopea hydrataatioreaktio hidastuu ja se johtaa seuraavaan vaiheeseen eli lepovaiheeseen. Kiihtyvässä vaiheessa hydrataationopeus kasvaa jälleen. Tässä vaiheessa massa muuttuu plastisesta muodosta jäykkään muotoon. Kiihtyvä vaihe kestää noin 3–12 tuntia. (Virola ym. 2000)

Sementtiä voi korvata vaihtoehtoisilla sideaineilla betonin hiilijalanjäljen pienentämiseksi. Näissä sideaineissa yksinään ei tapahdu hydrataatioreaktiota, mutta ne osallistuvat betonin lujuudenkehitykseen. Tutkimuksessa on käytetty sementtiä korvaavana sideaineena masuunikuonaa. Kuonalla on piilevät hydrauliset ominaisuudet, jotka aktivoituvat sementin ja veden reaktiossa syntyvän kalsiumhydroksidin vaikutuksesta (Betonitieto, s.a.).

Hydrataatioprofiileista arvokasta tietoa

Suurin osa kemiallisista reaktioista betonin sideaineissa vapauttaa lämpöä. Iso-terminen kalorimetri mittaa jatkuvasti lämpötehoa reagoivasta näytteestä. Kun lämpöteho suhteutetaan kuluneeseen aikaan, saadaan tulos kemiallisen reaktion kokonaisasteesta eli hydrataatiolämmöstä.

Hydrataatiolämpö korreloi hyvin portlandsementtipohjaisten systeemien puristuslujuuden ja muiden mekaanisten ominaisuuksien kanssa. Kalorimetrillä (kuva 1) voidaankin arvioida kovettuneen sementtipastan tai laastin puristuslujuutta.

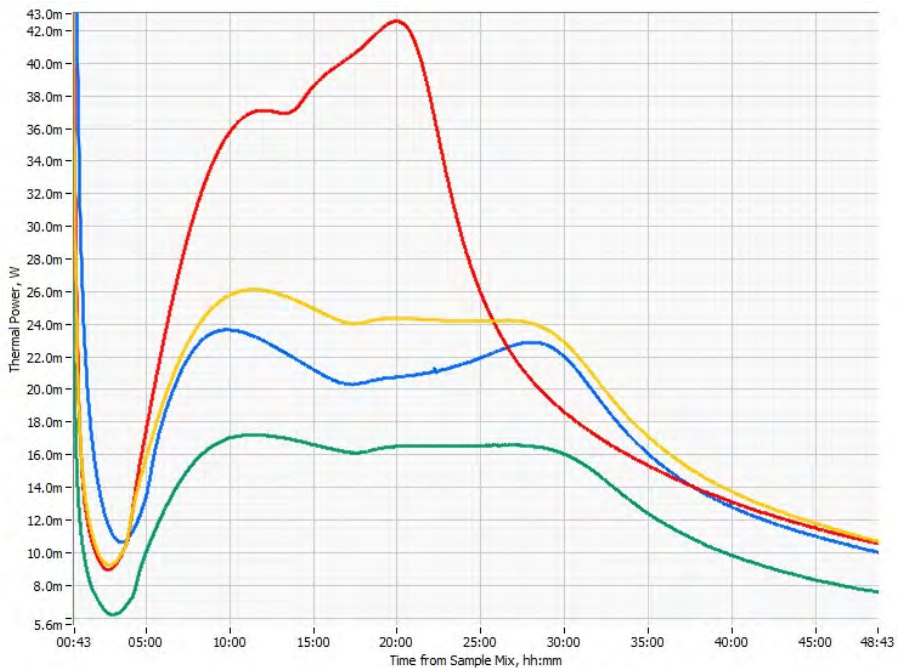


KUVA 1. Kalorimetria-analyysin suoritus (kuva Manu Eloaho).

Kalorimetria-analyysillä pystytään arvioimaan samankaltaisten massojen suhteellinen sitoutumisaika käytettäessä eri lisäaineita vertaamalla näytteiden hydrataatioprofiilia. Profiileja vertaamalla nähdään, kuinka paljon nopeammin tai hitaammin toisen massan sitoutuminen tapahtuu. Tutkimuksen olettaus on, että hiilidioksidi nopeuttaa hydrataatioreaktiota.

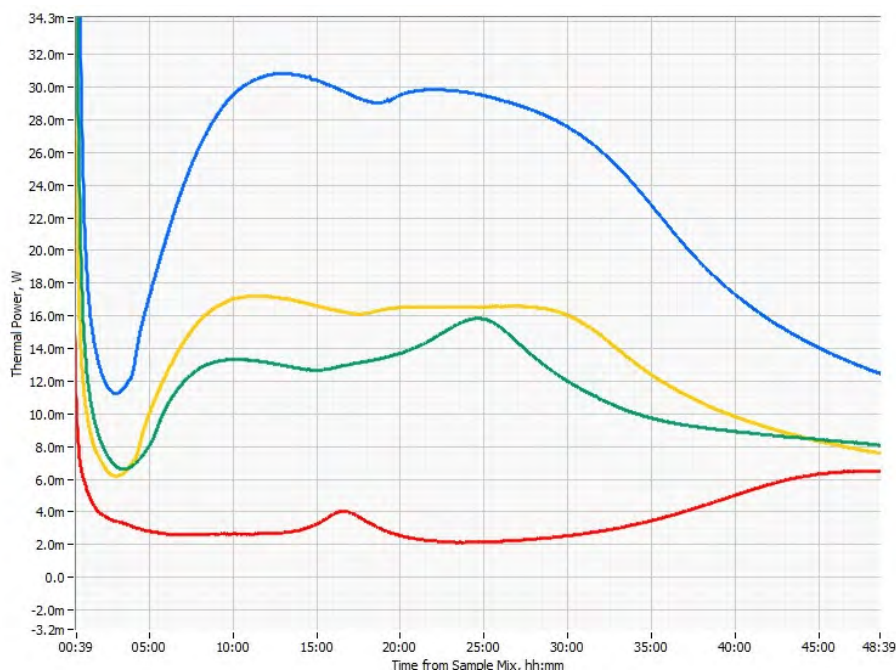
Seosaineiden vaikutus hydrataatioon

Tutkimuksessa tehtyjen kalorimetria-analysien avulla on voitu todeta hiilidioksidin kiihdyttävä vaikutus laastimassassa. Alkuvaiheen reaktioiden lämpötehoon (W) vaikuttaa olennaisesti lisätyn hiilidioksidin pitoisuus. Kuvassa 1 on esitetty kuvaaja eräiden laastimassojen lämpötehosta reaktion ensimmäisten vuorokausien ajalta. Kyseisissä massoissa on korvattu 30 prosenttia sementin määrästä masuunikuonalla ja niihin on lisätty eri määrä hiilidioksidia.



KUVA 2. Hiilidioksidin vaikutus hydrataatioreaktion lämpötehoon. Massoihin on lisätty hiilidioksidia, punaiseen 2 paino-%:a sideaineen määrästä, keltaiseen 1 paino-%, siniseen 19 paino-%:a ja vihreään ei ollenkaan.

Koska vaihtoehtoisten sideaineiden, kuten masuunikuonan, tiedetään vaikuttavan reagoivan massan hydrataatioprofiiliin, oli tärkeää tehdä kalorimetria-analyysi myös masuunikuonan vaikutuksesta. Kuvaajassa 2 käyrät esittävät lämpötehoa massoille, joissa sementistä on korvattu eri pitoisuuksia masuunikuonalla. Näihin massoihin ei ole lisätty hiilidioksidia, jotta analysoinnissa ja optimoinnissa pystytään hyödyntämään tuloksia myös pelkän masuunikuonan vaikutuksesta.



KUVA 3. Masuunikuonan vaikutus hydrataation lämpötehoon. Sinisessä käyrässä sementtiä on käytetty 100 %. Keltaisessa käyrässä sementistä on korvattu masuunikuonalla 30 %, vihreässä 60 % ja punaisessa 90 %.

On huomionarvoista, että hiilidioksidi voi kiihdyttää masuunikuonaa sisältävän massan hydrataatiolämmön yhtä tehokkaaksi kuin massan, jossa sideaineena on vain sementti. Tämä huomio tukee teoriaa, että sementin määrää olisi mahdollista vähentää menettämättä betonin lujuutta. Hiilidioksidin määrä on kuitenkin pidettävä maltillisena, sillä liika reagenssi hidastaa reaktiota. Koska otanta on pieni, tulee huomioida johtopäätösten epävarmuus.

Kalorimetria-analyseistä on pääteltävissä, että hiilidioksidi toimii kiihdyttävänä lisäaineena sementtipohjaisissa massoissa tiettyyn pisteeseen. Masuunikuonan optimaalinen käyttöaste on löydettävissä kalorimetrin avulla, joten näiden kahden muuttujan osalta ympäristöystävällisin seosainesuhde betonin valmistukseen on siis mahdollista löytää kalorimetria-analysejä hyödyntäen.

Johtopäätökset

Tutkimus luo vahvan alustan betonin kehittämislle hiilineutraalimpaan suuntaan. Edellytys tutkimuksessa saatujen tulosten käyttölle on niiden todentaminen. Jotta saadaan varmuus prosessin toimimisesta, tarvitaan vielä laajempia kokeita ja analyysejä.

Hiilidioksidi reagoi aiempien tutkimusten pohjalta luotujen olettamusten mukaisesti. Se kiihdyttää betonin lujuudenkehitystä ja optimitapauksessa lisää betonin lujuusominaisuuksia. Betoniteollisuuden näkökulmasta se olisi vihreää lisäarvoa tuova lisäaine, sillä sen kiihdyttävän vaikutuksen lisäksi hiilidioksidi on lopullisesti sidottu betoniin. Hiilensitominen pienentää betonin hiilijalanjälkeä.

Behi-hankkeen aikana on tarkoitus arvioida myös muun muassa kierrätyskiviaineksen käytön vaikutusta betonin hiilijalanjälkeen. Hiilijalanjälkeä laskettaessa tulee huomioida monia muitakin asioita, esimerkiksi raaka-aineiden kuljetuksesta aiheutuvat päästöt. Mikäli hiilipäästöistä saadaan säästöä, vaikka pieniäkin määriä sieltä ja täältä, voi lopputulos olla jo merkittävä.

LÄHTEET

SFS-EN 196-1:2016

SFS-EN 480-1:2023

Suomen Betoniyhdistys ry, s.a. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.betonitieto.fi/kirjasto-ja-sanasto/betonisanasto/masuunikuona.html> [viitattu 25.9.2023]

Virola, H. & Raivio, P. 2000. Portlandsementin hydrataatio. VTT. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://www.vttresearch.com/sites/default/files/pdf/tiedotteet/2000/T2041.pdf> [viitattu 5.9.2023]

INNOVATIIVISET ALUEELLISET RATKAISUT ENERGIAMURROKSEN HAASTEISIIN

Timo Juusola & Tuija Korpela & Erja Tuliniemi & Maunu Kuosa
& Hannu Sarvelainen

Kymenlaakson alueella edistetään rakennusten energiatehokkuutta ja uusiutuvan energian käyttöä rakennetussa ympäristössä. Pilottikohteina voivat toimia erilaiset kiinteistöt, korttelit tai alueet (kuva 1). Toimia edistetään Energiaälykäs kaupunkiympäristö -hankkeessa, joka toteutetaan Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulun (Xamk) Metsä, ympäristö ja energia -vahvuusalan alla. Hanke on Euroopan unionin osarahoittama. Rahoitus on myönnetty Kymenlaakson liiton myöntövaltuudesta.

Rakennusten energiatehokkuutta pyritään parantamaan energian kulutuksen ja päästöjen vähentämiseksi. Älykkäät ja innovatiiviset energiaratkaisut ovat osa kehitystä vähäpäästöisempään rakennuskantaan. Aluksi selvitettiin kirjallisuudessa esitettyjä uusia tutkimusavauksia ja olemassa olevia alueellisia energiaratkaisuja. Alueelliset ja korttelitalon energiaratkaisut keskitetään tänä päivänä uusiutuvan energian energiakeskuksiin, jotka optimoivat alueen energiavirtoja. Eri uusiutuvien energialähteiden joukosta geoterminen energia ja sen käyttö rakennuksiin tulevan ilman lämmityksessä tai jäähdytyksessä voisi toimia perinteisten järjestelmien korvaajana. Maaperään upotetuilla putkilla voidaan kerätä maasta lämpöä, jos putkia ei ole eristetty. Yhtenä hankkeen pilotointikohteista on omakotitalon il-mavesilämpöpumpun tuloilman esilämmitys. Tulevalla lämmityskaudella seurataan tapausta, jossa tuloilmaa lämmitetään maanalaisessa putkistossa ja lämmitettyä ilmaa tuodaan lämpöpumpun ulkohöyrystimelle. Monitoroinnin avulla selvitetään systeemin vuotuista energiansäästöä.



KUVA 1. Energiaälykäs kaupunkiympäristö (hankkeen viestintä- ja markkinointikuva, Getty Images).

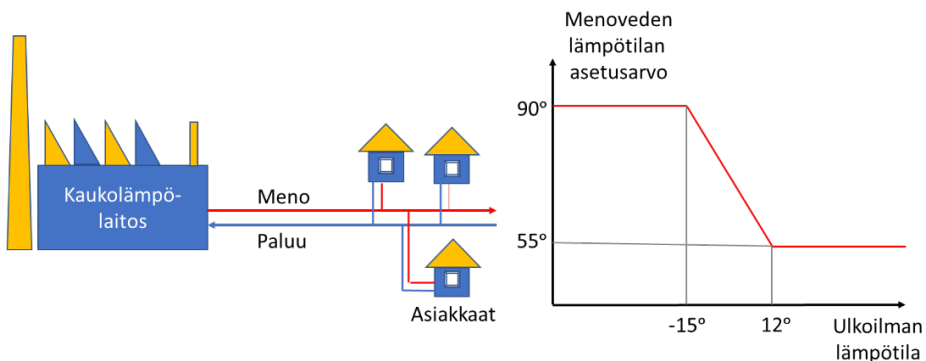
Kestävää kehitystä rakennuskannassa

Euroopan komission mukaan EU:n rakennusten osuus energiankulutuksestamme on jopa 40 prosenttia ja rakennuksiin tuotetun energian kasvihuonepäästöjen osuus 36 prosenttia (Euroopan parlamentti 2023). Suomessa rakennusten energiankulutus vastaa 27 prosenttia tuotetusta kokonaisenergiasta, ja se on toiseksi suurin energiaa käyttävä sektori teollisuuden jälkeen (Tilastokeskus 2022). Älykkäät ja innovatiiviset energiaratkaisut ovat osa kehitystä vähäpäästöisempään rakennuskantaan. Älykkäissä energiaratkaisuissa rakennus voi esimerkiksi toimia energian kuluttajan lisäksi myös energian tuottajana ja varastojana, kuten eräissä visioidussa lähienergiakylässä, jossa kulutettu energia tuotetaan kiinteistöihin liitetyillä aurinkoenergia- ja lämpöpumppujärjestelmillä sekä yhteisissä isommissa tuuli- ja biokaasuvoimaloissa. Älykkään energiaverkon automaatio pitää huolen, että sähköä ja lämpöä varastoidaan silloin, kun sääolosuhteet ovat otollisia uusiutuvan energian tuotannolle. Tuulettomina ja pimeinä aikoina automaatio lisää biovoimalan tuotantoa ja säättää valikoituja sähkölaitteita pienemmälle tai kokonaan pois käytöstä. (Lähienergiamuodot s.a.)

Innovatiivisia ja toteutettuja ratkaisuja

Rakennusten energiatehokkuutta pyritään parantamaan energian kulutuksen ja päästöjen vähentämiseksi. Kirjallisuudessa esitettyjä uusia tutkimusavauksia ovat muun muassa:

- uusien kaupunkitason asuntojen kustannustehokas lämmitys järjestelmän näkökulmasta katsoen (Vilen ym. 2023)
- rakennuksen lämpömassan joustavuus energiajärjestelmän optimoinnissa (Askeland ym. 2023)
- kaukolämmön hiilidioksidipäästöt ja rakennusten jälkiasennukset energiatehokkuuden parantamiseksi (Popovski ym. 2023)
- kaukolämpöjärjestelmien keinoälyavusteiset operaatiot (Zdravkovic ym. 2021) (kuva 2)
- älykkäiden rakennusten ja verkkojen ominaisuuksia älykkäässä energiakaupungissa (Morvaj ym. 2011)
- uusiutuva energiajärjestelmä, jossa matalan lämpötilan geotermisestä energiasta tuotetaan kaukolämpöä (Østergaard & Lund 2011)
- maanalaisten ilmatunnelien käyttö maatalous- ja asuinrakennusten lämmitykseen ja jäähdytykseen (Goswami & Biseli 1993)
- ilmatunneleiden soveltuvuus rakennusten raikkaan tuloilman esilämmitykseen kylmällä ilmastoalueella (Li ym. 2019).



KUVA 2. Kaukolämpöjärjestelmä vasemmalla ja oikealla esimerkki menoveden lämpötilan säätökäyrästä ulkolämpötilan mukaan (kuva Maunu Kuosa).

Suomesta ja maailmalta kartoitettiin olemassa olevia alueellisia energiaratkaisuja. Hollannin Groningenissa on rakennettu energiaomavaraisia tai jopa energia-positiivisia alueita uusiutuvan energian tuotannon avulla. Kaupungissa on lisätty aurinkoenergian tuotantoa ja kokeiltu sen sijoittamista kelluville lautoille vesistön päälle. Lisäksi on testattu vertikaaleja, talon seinässä olevia aurinkopaneeleita hyödyn maksimoimiseksi. Alueella on lisätty myös erilaisten lämpöpumppuratkaisujen käyttöä, joiden avulla on saatu pientaloja irtautumaan kaasuverkosta. (Making City Event s.a.)

Suomessa, Oulun Kaukovainion alueella on myös kokeiltu vertikaaleja aurinkopaneeleja seinissä. Muut ratkaisut perustuivat kuitenkin vahvasti lämpöpumppuihin ja hukkalämmön hyödyntämiseen. Kaupparakennuksen ylijäämälämpöä syötetään kaukolämpöverkkoon ja varastoidaan kesäisin porakaivovarastoon. Rakennettuun uuteen kerrostaloon on tuotu useita lämpöpumppuratkaisuja, kuten lämmöntalteenotto poistoilmasta, kaukolämmön paluuedestä ja jätevedestä. Näiden ratkaisujen toteutus maksoi noin 100 euroa/m² enemmän suhteessa perinteiseen toteutusmalliin. Kulutusjouston (kaukolämmön älykäs ohjaus) osalta merkittäväksi tekijäksi jouston maksimoimiseen nostettiin energialaitoksen suurempi kontrolli vähintäänkin suurimmista lämpöpumppuratkaisuista. Energialaitoksen automaatiolla olisi mahdollista reagoida ja sopeuttaa omaa tuotantoa vastaavasti saavuttaen niin tuotannollisia kuin taloudellisia hyötyjä. (Kaukovainio nyt s.a.)

Alueelliset ja korttelitason energiaratkaisut tyypillisesti tänä päivänä keskitetään uusiutuvan energian energiakeskuksiin, jotka optimoivat alueen eri energiavirtoja. Tällaisia ovat muun muassa Oulun Energian energiakeskus, joka tuottaa Nokian toimintojen tarvitseman jäähdytyksen. Jäähdytyksen yhteydessä syntyvä hukkalämpö puolestaan hyödynnetään Oulun Energian kaukolämpöverkossa. (Oulun Energia s.a.) Kotkassa Satama Areenan ja Xamkin uuden kampuksen muodostamalla rakennuskokonaisuudella on myös moderni, Kotkan Energian omistama energiakeskus, jossa lämmitys- ja jäähdytysenergiavirtoja voidaan siirtää tarpeen mukaan älykkäästi rakennuksesta ja paikasta toiseen. Pääenergiälähteenä toimii uusiutuva kaukolämpö sekä maalämpö. Maahan on porattu 28 lämpökaivoa, jotka toimivat sekä lämmönlähteenä että energiavarastoina. (Energiakeskus kantasatamassa s.a.)

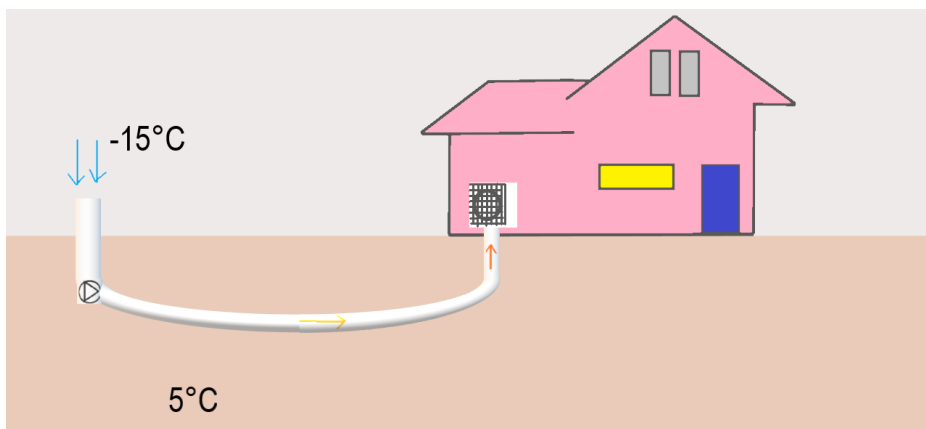
Tuloilman esilämmitys maanalaisessa tunnelissa ja pilotti Kymenlaaksossa

Rakennusten lämmityksessä perinteiset lämmitys-, ilmanvaihto- ja ilmastointijärjestelmät vastaavat noin 40 prosenttia rakennusten energiankulutuksesta. Erilaisten uusiutuvien energialähteiden joukosta geoterminen energia sopisi erinomaisesti lämpösovelluksiin, kuten tilojen lämmitykseen ja jäähdytykseen (Li ym. 2019). Edellä luetelluista tutkimusavauksista viimeisimpänä mainittu maanalainen ilmatunneli voisi toimia perinteisten järjestelmien korvaajana. Maaperään upotetuilla putkilla voidaan kerätä maasta lämpöä, jos putkia ei ole eristetty.

Useat tutkimukset ovat keskittyneet kyseisen laitteiston termisen suorituskyvyn arviointiin eri ilmasto-olosuhteissa. Ilman tuonti maatunnelia pitkin voisi tehokkaasti vaimentaa ympäröivän ulkoilman lämpötilan vaihteluita säilyttäen samalla suhteellisen korkean suorituskyvyn (COP). Kokeellista tutkimusta ilman lämmityksestä

ja jäähtyäkseen maatumneleissa on tehty muun muassa Saksassa, Belgiassa, Italiassa, Marokossa, Brasiliassa, Romaniassa ja Intiassa, joissa on pyritty todistamaan järjestelmän toimivuutta. Kiinassa osoitettiin kokeellisesti, että järjestelmällä ja rakennuksen lämmöntalteenottoyksiköllä olisi riittävästi potentiaalia lämmittää rakennukseen tuleva raitis ilma ankaran kylmilläkin alueilla talvella ilman apulaitteita. (Li ym. 2019)

Yhtenä hankkeen pilotointikohteista on omakotitalon ilmavesilämpöpumpun tuulilman esilämmitys. Hankkeessa pilotoidaan tapausta, jossa maaputkistossa lämmitettyä ilmaa tuodaan omakotitalon kompressorilämpöpumpun ulkohöyrystimelle. Tarkoituksena on lämmittää ilmaa maanalaisessa putkikanavassa maaperän lämpöä hyödyntäen lämmityskaudella. Ulkoilma puhalletaan maanalaiseen putkikanavaan, joka on kahden metrin syvyydessä maan alla vaakatasossa (kuva 3). Maaperän lämpötila nostaa putkien sisällä olevan ilman lämpötilaa, kunnes esilämmitetty ilma ohjataan talon seinässä sijaitsevaan lämpöpumpun ulkoyksikön höyrystimelle.



KUVA 3. Periaatekuva pilottikohteen ulkoilman lämmityksestä maaputkistossa (kuva Timo Juusola).

Ilmavesilämpöpumpun lämpökerroin laskee talvella alhaiseksi silloin, kun lämmitysenergian tarve on suurimmillaan. Maaperän lämpötila pysyy tasaisena vuoden ympäri syvällä maaperässä. Mitä lähempänä maanpintaa ollaan, sitä suurempi vaikutus ulkolämpötilalla on maaperän lämpötilaan. Suomessa maanpinnan keskilämpötila on keskimäärin pari astetta korkeampi kuin ilman vuotuinen keskilämpötila. Kymenlaaksossa maanpinnan vuosittainen keskilämpötila on noin viisi astetta. (Leppävaara 2008, 10) Maaperän lämpöä voidaan hyödyntää lämpöpumpputeknikassa. Vaikka näin on tehty jo kauan maalämpöpumpuissa, ei maaperän lämpöä ole juuri hyödynnetty ilmaa energialähteenä käytävissä lämpöpumpuissa, kuten ilmavesilämpöpumpuissa.

Teoriassa mikä tahansa riittävän suuri maan alla oleva ilmatila mahdollistaisi paremman hyötysuhteen ilmavesilämpöpumpulle, mikäli maaperän lämmittämää ilmaa saadaan ohjattua sujuvasti lämpöpumpun ulkoyksikön höyrystimelle. Ongelmaksi kuitenkin koituu toteutuksellisia ja taloudellisia haasteita. Jotta maaperän lämpöä saadaan hyödynnettyä, tarvitaan riittävän suuri lämmönlähde, esimerkiksi maanalainen putkikanavisto tai suuri maakellari. Lämmintä ilmaa täytyy puhaltaa puhaltimella putkikanavaa pitkin jatkuvasti lämpöpumpun höyrystimelle, jotta saadaan korkeampi lämpökerroin talvipakkasilla.

Lämpöpumpun ulkoyksikön läpi virtaa suuria määriä ilmaa, joten lämpövaraston on oltava suuri riittävän hyödyn saamiseksi. Lisäksi on hyvin mahdollista, että lämmönlähde tulee ehtymään jatkuvan käytön seurauksena. Tämän vuoksi järjestelmän mitoitus, seuranta ja tutkiminen on tärkeää, jolloin voidaan saada käsitys sen kannattavuudesta.

Toisenlaisessa sovelluksessa, jota voitaisiin hyödyntää kesällä, olisi mahdollista käyttää samoja maaputkia ulkoilman jäähdytykseen. Tämä ilma ohjattaisiin rakennuksen sisätiloihin, jolloin ilma tulisi myös suodattaa riittävän puhtaaksi. Tässä tapauksessa maahan olisi mahdollista myös varastoida korvaavaa lämpöenergiaa seuraavaa lämmityskautta varten.

Tulevan lämmityskauden aikana, syksystä 2023 eteenpäin, tullaan seuraamaan, miten ilmavesilämpöpumpun tuloilmaa voidaan esilämmittää neljässä rinnakkain asennetussa 12 metriä pitkässä putkessa, joiden sisähalkaisija on 200 mm. Tutkimuksessa seurataan ilman lämpenemistä ja virtausnopeutta putkistossa, jolloin monitoroinnin avulla voidaan laskea maasta saatavan lämpötehon ja energian määrät. Tuloksia voidaan verrata ilmavesilämpöpumpun aikaisempiin tehonkulutus- ja lämpökertoimiin, minkä avulla voidaan selvittää systeemin vuotuista energiansäästöä maaputkistojärjestelmää hyödynnettäessä.

LÄHTEET

Askeland, M., Georges, L. & Korpås, M. 2023. Low-parameter linear model to activate the flexibility of the building thermal mass in energy system optimization. *Smart Energy* 9 (2023) 100094.

Energiakeskus Kantasatamassa on edelläkävijyyttä – konserttiyleisön lämpöenergia napataan talteen lämmittämään XAMK:n tiloja s.a. Saatavissa: <https://www.kymensanomat.fi/kaupalliset/6128856> [viitattu 31.8.23]

Goswami, D. Y. & Biseli, K. M. 1993. Use of underground air tunnels for heating and cooling agricultural and residential buildings. University of Florida. Fact Sheet EES 78. May 1993.

Kaukovainio nyt s.a. Saatavissa: <https://www.ouka.fi/oulu/kaukovainio/tanaan> [viitattu 31.8.23]

Leppävaara, N. 2008. Kalliolämmön hyödyntämiseen vaikuttavat geofysikaaliset ja geologiset tekijät. Oulun yliopisto. Fysikaalisten tieteiden laitos. Pro gradu tutkielma. PDF-dokumentti.

Li, H., Ni, L., Liu, G., Zhao, Z. & Yao, Y. 2019. Feasibility study on applications of an earth-air heat exchanger /EAHE) for preheating fresh air in severe cold regions. *Renewable Energy* 133 (2019) 1268-1284.

Lähienergiamuodot s.a. Saatavissa: <https://lahienergia.org/lahienergiamuodot/> [viitattu 9.8.23]

Making City Event FIGBC Groningen pilot City s.a. Saatavissa: https://figbc.fi/wp-content/uploads/sites/4/2022/09/MakingCity_WGBW_2022_Jasper_Tonen.pdf [viitattu 31.8.23]

Morvaj, B., Lugaric, L. & Krajcar, S. 2011. Demonstrating smart buildings and smart grid features in a smart energy city. 3rd International Youth Conference on Energetics 2011.

Oulun Energia s.a. Oulun Energia rakentaa Nokian tarpeisiin älykkään energiakeskuksen – tuottaa jäähdytyksen ja hyödyntää hukkalämmöt. Saatavissa: <https://www.ouluenergia.fi/uutiset/4--2023/ouluenergia-rakentaa-nokian-tarpeisiin-alykkaan-energiakeskuksen/> [viitattu 31.8.23]

Østergaard, P. A. & Lund, H. 2011. A renewable energy system in Frederikshavn using low-temperature geothermal energy for district heating. *Applied Energy* 88 (2011) 479-487.

Popovski, E., Ragwitz, M. & Brugger, H. 2023. Decarbonization of district heating and deep retrofits of buildings as competing or synergetic strategies for the implementation of the efficiency first principle. *Smart Energy* 10 (2023) 100096.

Rakennusten energiatehokkuus: EU-parlamentti hyväksyi kantansa. 2023. Euroopan parlamentti. WWW-dokumentti. Päivitetty 14.3.2023. Saatavissa: <https://www.europarl.europa.eu/news/fi/press-room/20230310IPR77228/rakennusten-energiatehokkuus-eu-parlamentti-hyvaksyi-kantansa> [Viitattu 28.8.2023].

Tilastokeskus. 2022. 12vk -- Energian loppukulutus sektoreittain, 1970-2022*. Saatavissa: https://pxdata.stat.fi/PxWeb/pxweb/fi/StatFin/StatFin__ehk/statfin_ehk_pxt_12vk.px/table/tableViewLayout1/ [Viitattu 10.8.2023].

Vilén, K., Selvakkumaran, S. & Ahlgren, E. O. 2023. Communal or individual – exploring cost-efficient heating of new city-level housing in a systems perspective. *Smart Energy* 10 (2023) 100097.

Zdravkovic, M., Ciric, I. & Ignjatovic, M. 2021. Towards explainable AI-assisted operations in district heating systems. *IFAC PapersOnLine* 54-1 (2021) 390-395.

KIERRÄTYS TEKSTIILIN LIUOTUSKOEKET BIOSAMMOSSA

Eveliina Kuokkanen & Anne Gango

Polyesteri on suosittu ja paljon käytetty materiaali tekstiileissä, minkä vuoksi sitä päätyy valtavia määriä poistotekstiilien mukana myös jätteeksi. Polyesteriä on mahdollista kierrättää muun muassa kemiallisesti liuottamalla polyesterin polymeeriketju monomeereiksi, jolloin saadut monomeerit on mahdollista hyödyntää uudelleen kierrätyspolyesterin valmistuksessa. Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulun Bio- ja kiertotalouden tutkimuskeskus BioSammossa tehtiin kaksi liuotuskoeetta poistotekstiilille, joka koostui 100-prosenttisesti polyesteristä. Liuotuskokeiden tuloksena saatiin saostumaa, joka koejärjestelyiden artikkelilähteen mukaan on tulkittavissa toiseksi polyesterin komponenteista eli tereftaalihapoksi.

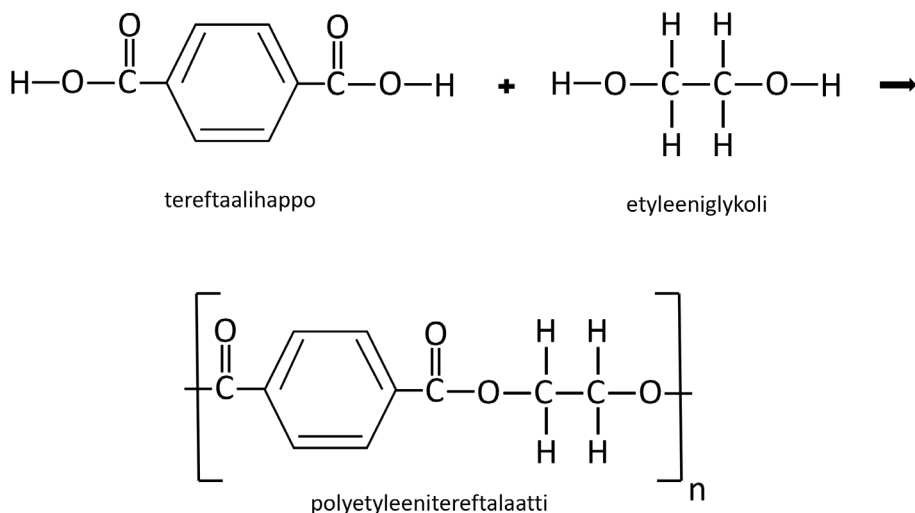
Liuotuskokeet ovat osa Tekstiilit kiertoon Kymenlaaksossa -hanketta, joka on Euroopan unionin osarahoittama hanke. Rahoitus on myönnetty Kymenlaakson liiton myöntövaltuudesta. Hankkeessa tutkitaan poistotekstiilien lajittelun ja logististen näkökulmien lisäksi tekstiilien mekaanisia ja kemiallisia kierrätysmenetelmiä Bio- ja kiertotalouden tutkimuskeskus BioSammossa. Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulun hallinnoiman hankkeen osatoteuttajina ovat Parik-säätiö, Sotek-säätiö, Kouvola Innovation KINNO ja Kouvolan ammattiopisto Eduko. Hankkeen kesto on 1.1.2023–31.12.2024.

Taustaa liuotuskokeille

Polyesteri on synteettinen tekokuitu, jota tuotetaan valtavia määriä maailmassa. Esimerkiksi vuonna 2020 polyesteriä tuotettiin noin 63 miljoonaa tonnia. Polyesterin tuotantoon ja käyttöön liittyy erilaisia ympäristönäkökulmia, kuten polyesterin öljypohjaisuus ja valmistuksen suuri energian tarve. Lisäksi tekstiilipolyestereistä irtoaa käytössä mikromuoveja, etenkin rumpukuivauksessa. (Suomen Tekstiili & Muoti 2022) Poisto- ja jätetekstiilien kierrättäminen on vielä alhaisella tasolla, joten tekstiilipolyesteriä muiden tekstiilien mukana päätyy suuria määriä kaatopaikoille ja energiaksi. Vuoden 2023 alussa voimaan tullut tekstiilien erilliskeräysvelvoite velvoittaa kuntia keräämään asumisesta peräisin olevaa tekstiilijätettä. Kyseiselle, koostumukseltaan hyvin vaihtelevalle materiaalivirralle kaivataan hyödyntämis-kohteita. Materiaalivirran luonnonkuiduille löytyy hyödyntäjiä, mutta synteettisten kuitujen osalta on vielä paljon tehtävää.

Polyesteriä voidaan kierrättää eri tavoilla, esimerkiksi termisesti sulattamalla ja prosessoimalla materiaali uudelleen käytettävään muotoon tai liuottamalla halutut polyesterin jakeet kemikaalilla ja saostamalla ne uudelleen hyödynnettäväksi. Kemiallisessa kierrätyksessä kankaan polymeeriketjut pilkotaan kemikaalien avulla monomeereiksi ja näistä monomeereista saadaan raaka-ainetta kierrätyspolyesterille. Yksi haaste polyesterin kuten muidenkin materiaalien kierrättämiselle on tekstiilien sekalainen koostumus, sillä monet kankaat on valmistettu kahdesta tai useammasta raaka-aineesta. Esimerkiksi farkkukangas on puuvillapohjaista, mutta siinä käytetään usein polyesteriä tai elastaania tuomaan farkkuihin lisäominaisuuksia, kuten parantunutta istuvuutta. Polyesteri ei myöskään ole yksi materiaali, vaan se käsittää erilaisia yhdisteitä. Polyesteri onkin määritelmän mukaisesti polymeeri, joka sisältää vähintään yhden esteriryhmän monomeeriä kohden (Saleh 2012, 3).

BioSammossa tehdyissä liuotuskokeissa tutkittiin erään tekstiilipolyesterin liukenemistä vahvaan emäkseen. Tekstiilipolyesteri koostuu yleensä polyetylenitereftalaatista (PET), joka sen sijaan muodostuu tereftaalihaposta ja etyleeniglykolista. Kuvassa 1 esitetään polyetylenitereftalaatin muodostuminen monomeereistään. BioSammossa tehtävien kemiallisten kokeiden tarkoituksena oli saada kankaan tereftaalihappoa liukoiseen ja saostettavaan muotoon.



KUVA 1. Polyetylenitereftalaatin muodostuminen tereftaalihaposta ja etyleeniglykolista (mukaillen Ketema & Worku 2020).

Kankaan liuotuskokeet

Kankaan liuotuskokeita tehtiin kaksi kappaletta kevään ja kesän 2023 aikana BioSammossa. Kokeita varten hienonnettiin mustaa kangasta (ks. kuva 2) Retsch SM300 -leikkuumyllyllä. Pesulapun tietojen mukaan kangas koostui 100-prosenttisestä polyesteristä. Kangasta hienonnettiin leikkuumyllyllä käyttäen V-roottoria ja seulakokona halkaisijaltaan 20 mm:n reikäseulaa. Hienonnettu materiaali laskeutui roottorin ja seulalevyn alla olevaan säiliöön painovoimaisesti. Hienonnuksessa ei käytetty syklonia, jota voi hyödyntää kevyen materiaalin jauhatuksessa. Sykloniin kiinnitetään imuri, jonka imu auttaa kevyen materiaalin poistumista hienonnuksosasta. Syklonia ei kuitenkaan tarvittu, sillä kyseinen kangas hienontui nopeasti. Materiaalin sähköisyys näkyi hienon kangasmateriaalin tarttumisena leikkuumyllyn pinnoille.



KUVA 2. Leikkuumyllyllä hienonnettua polyesterikangasta (kuva Eveliina Kuokkanen).

Ensimmäinen liuotuskoe tehtiin keväällä 2023. Koetta varten valmistettiin viiden massaprosentin (m-%) NaOH-liuosta yhteensä 500 ml. Liuos lämmitettiin BioCoten (UC152D) lämmitys/magneettisekoituslaitteen päällä noin 90°C:seen magneettisekoituksessa. Tämän jälkeen liuokseen lisättiin 5,0 g tekstiilipolyesteriä. Alun perin tarkoituksena oli pitää NaOH/kangas-seos 90°C:ssa joidenkin tuntien ajan, mutta lämmitystä oli vaikea pitää tasaisena, ja seoksen kiehumisriskin vuoksi lämpötila

päätettiin pitää 70–80 °C:ssa. Tunnin päästä seoksen lämmitys lopetettiin ja sen annettiin jäähtyä laitteen päällä magneettisekoituksessa. Seoksen jäähtyttyä noin 35 °C:seen seoksesta suodatettiin kangas pois suodatinpaperille (ks. kuva 3).



KUVA 3. Kankaan suodattaminen NaOH/kangas-seoksesta (kuva Eveliina Kuokkanen).

Kangas neutraloitiin 10 m-%:n etikkahapolla, minkä jälkeen se vielä huuhdeltiin vedellä. Kangas jätettiin yön yli kuivumaan vetokaappiin. Jäljelle jäänyt suodos käsiteltiin 95 m-%:n rikkihappoliuoksella. Rikkihappoa lisättiin, kunnes suodoksessa muodostui saostumaa eli kun pH oli 2–3 (ks. kuva 4).



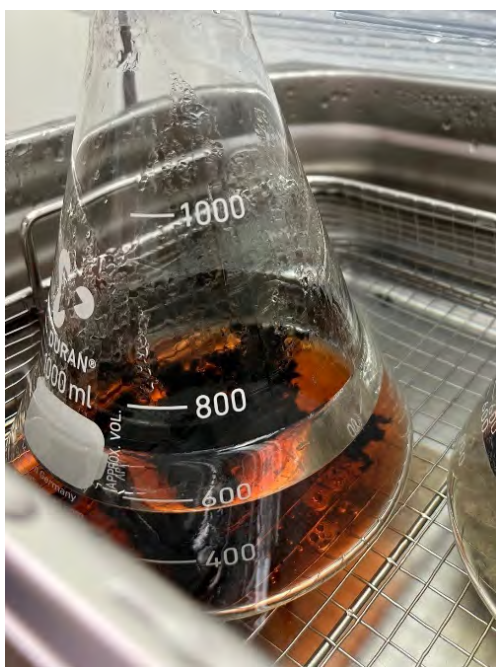
KUVA 4. Oranssi suodos muuttui vaaleammaksi heti saostuman muodostumisen jälkeen (kuva Eveliina Kuokkanen).

Saostuma suodatettiin ja huuhdottiin vielä vedellä. Lopuksi suodatettu saostuma eli kiinteä aines jätettiin kankaan tapaan kuivumaan yön yli vetokaappiin. Vaaleanpunertava aines oli kuivunut huoneenkosteuteen seuraavana päivänä (ks. kuva 5).



KUVA 5. Vaaleanpunertava huoneenkosteuteen kuivunut saostuma eli kiinteä aines koetta seuraavana aamuna vetokaapissa (kuva Eveliina Kuokkanen).

Toinen liuotuskoe tehtiin kesällä 2023. Kokeessa oli sama periaate kuin keväällä suoritettussa kokeessa, mutta sitä muutettiin tietyiltä osin. NaOH/kangas-seos lämmitettiin vesihauteessa hauteen 80 °C:n maksimilämpötilassa (ks. kuva 6). Vesihauteen lämpötila pysyi kokeen ajan suhteellisen tasaisena, ja sitä oli helpompi hallita ensimmäisen kokeen lämmitystapaan verrattuna. NaOH/kangas-seos pidettiin lämmityksessä kuuden tunnin ajan, jonka jälkeen seos jätettiin hauteeseen jäähtymään seuraavaan aamuun saakka. Aamulla hauteen lämpötila oli 20 °C. Kangas eroteltiin NaOH/kangas-seoksesta ja neutraloitiin kuten ensimmäisessä kokeessa. Jäljelle jääneen suodoksen/liuoksen saostaminen sen sijaan tehtiin 1 M:n rikkihapolla (ks. kuva 7). Viimeisenä vaiheena saostuma suodatettiin ja huuhdottiin vedellä. Suodatettu saostuma jätettiin kuivumaan vetokaappiin.



KUVA 6. NaOH/kangas-seos vesihauteessa (kuva Eveliina Kuokkanen).



KUVA 7. Kankaan suodattamisen jälkeen jääneen liuoksen saostaminen rikkihappoa lisäämällä (kuva Anne Gango).

Kokeiden tulokset ja jatkotoimenpiteet

Ensimmäisen liuotuskokeen tuloksena oli kahden prosentin saanto kiinteää ainesta alkuperäiseen kankaan massaan verrattuna. Toisessa kokeessa vastaava saanto oli jo 13 prosenttia. Tulosten eroon todennäköisesti vaikutti toisen kokeen selvästi pidempi lämmitysvaiheen kesto, joka oli kuusinkertainen ensimmäisen kokeen keston verrattuna. Teorettinen saanto kirjallisuuslähteen mukaan voisi olla ainakin 85 prosenttia (Saleh 2012, 259). Jatkokokeissa reaktioaikaa pidentään, jotta saantoa saadaan lisättyä.

Saostuman muodostumiselle todennäköinen syy on kankaasta liuenneen tereftaalihapon reagointi rikkihapon kanssa. Kokeet suoritettiin mukaillen Bengtssonin ym. (2022) tutkimusta, jossa polyesterikangasta käsiteltiin NaOH-liuoksissa. Kyseisistä liuoksista määritettiin tereftaalihappopitoisuus UV-spektrofotometrillä. Osa liuoksista käsiteltiin rikkihapolla tereftaalihapon saostamiseksi ja massan määrittämiseksi. Bengtssonin ym. (2022) tutkimusten tavoin saostumaa muodostui BioSammossa tehdyissä kokeissa viitaten tereftaalihapon liukenemiseen kankaasta ja saostumiseen pH:n laskiessa.

BioSammossa tehdyt kokeet olivat ensimmäiset laatuaan. Koejärjestelyitä muokattiin ensimmäisen kokeen jälkeen muun muassa työturvallisuudeksi ja huomioiden

reaktioajan merkitys. Seuraavia kokeita varten koejärjestelyitä muokataan ja kehitetään edelleen muun muassa ottamalla huomioon analysointitarpeet ja reaktioajan kasvattaminen. Analyysitarpeena on ennen kaikkea liuotuskokeissa saatavan tuotoksen tunnistaminen ja massan määrittäminen. Reaktioaikaa kasvattamalla halutaan lisää selvittää reaktioajan merkitystä saantoon. Lisäksi olisi kiinnostavaa arvioida liuotuskokeisiin laitettavan kankaan palakoon merkitys saantoon suorittamalla kokeet sekä hienoksi jauhetulle kankaalle että suurille kangaspaloille.

LÄHTEET

Bengtsson, J., Peterson, A., Idström, A., de la Motte, H. & Jedvert, K. 2022. Chemical recycling of a textile blend from polyester and viscose, Part II: Mechanism and reactivity during alkaline hydrolysis of textile polyester. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://www.mdpi.com/2071-1050/14/11/6911> [viitattu 23.8.2023].

Ketema, A. & Worku, A. 2020. Review on intermolecular forces between dyes used for polyester dyeing and polyester fiber. Review article. Hindawi, Journal of Chemistry, volume 2020. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://www.hindawi.com/journals/jchem/2020/6628404/> [viitattu 11.9.2023].

Saleh, H. El-Din M. (toim.) 2012. Polyester. IntechOpen. PDF-dokumentti. Saatavissa: https://mts.intechopen.com/storage/books/2383/authors_book/authors_book.pdf [viitattu 11.9.2023].

Suomen Tekstiili & Muoti ry. Synteettiset tekokuidut, polyesteri. 2022. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.stjm.fi/tekstiilikuidut/polyesteri/> [viitattu 31.8.2023].

DEVELOPING THE RESEARCH AND EDUCATION ENVIRONMENT FOR BATTERY MATERIALS IN THE FUTURE

Nina Wehrenbrecht & Milla Pitkänen & Turo Laine

The emergence of battery material production facilities in the Kotka-Hamina region signifies a critical step towards electrification across various sectors. A core aspect of this transition is the cultivation of a skilled workforce, achieved through collaborative efforts between educational institutions and industry stakeholders.

The provided text delves into the creation of six specialised courses by Xamk, addressing battery chemistry, manufacturing, recycling and energy storage. These courses are tailored to equip students with a deep understanding of battery technology and the practical skills necessary for a career in the battery industry.

Furthermore, the text highlights emerging battery technologies, particularly solid-state batteries, and their potential to revolutionise energy storage. These innovations promise superior energy density, enhanced safety, longer lifespan and improved environmental sustainability. Nevertheless, they face challenges related to raw material availability and technical complexities.

The environmental impact of new battery technologies is examined, with an emphasis on their potential to reduce carbon emissions and alleviate ethical concerns related to materials sourcing. The exploration of alternative battery technologies, such as sodium-ion and zinc-ion batteries, underscores the industry's quest for more affordable and sustainable options, albeit with ongoing research and development needs.

In conclusion, the battery industry stands at the forefront of sustainable energy solutions, necessitating continuous research, development and education initiatives to address challenges, optimise existing technologies and uncover novel, eco-friendly battery materials and manufacturing methods.

This text is a part of two projects co-funded by the European Union: the Battery R&D cluster in Southeast Finland and the Southeast Finland battery cluster education project. The funding for the R&D project has been granted by the Regional

Councils of South-Karelia and Kymenlaakso, and the funding for the education project has been granted by the Häme Center for Economic Development, Transport, and Environment. Both of these projects are in co-operation with LUT and Ekami. Project schedules are R&D 1.11.2022 – 31.10.2024 and education 1.1.2023 – 31.12.2024.

Battery material production is coming to the Kotka – Hamina region

With the planned precursor cathode active material (pCAM) plant in Hamina and a cathode active material (CAM) plant in Kotka, the battery cluster in the Kymenlaakso region is developing. Both processes are part of cathode manufacturing and will be used in lithium-ion batteries for different applications. Therefore, the new battery material plants are an important contribution to the electrification of sectors and global energy transition. The locations of these plants are presented below in Figure 1 and the illustrative pictures of both plants made by the Finnish Minerals Group are shown in Figures 2 and 3.



FIGURE 2. Illustrative drawing of the CAM plant of Kotka (Picture: Finnish Minerals Group).



FIGURE 3. Illustrative picture of the pCAM plant of Hamina (Picture: CNGR Finland Oy).

In order to move the green energy transition forward, electrification of transport and energy storage systems is required. As the renewable power output is variable and unpredictable, different energy storage methods are required. (Yuan 2021) Energy storage can help to ensure energy supply and balance the power supply according to demand (Gallo et al. 2016, Yuan 2021). Therefore, batteries are playing a significant role. They are not only feasible for stationary energy storage but also for replacing combustion engines with electric motors for electrifying transport. The benefits of electrification are broad, ranging from decreased air

pollution to reduced emissions and a healthy living environment in cities (Peng et al. 2018, Alanazi 2023). However, there are still challenges with battery production, materials and supply, safety, source of electricity and recycling (Zhang et al. 2023, Alanazi 2023). There are plenty of research and development activities taking place with the focus on making batteries sustainable and finding solutions for current challenges, and these projects are aiming to improve the region's position in Finland's value chain.

Among the most used battery types are lithium-ion batteries. They can be used for several different applications: small portable electric devices, electric vehicles and second-life energy storage systems. They convince above all with their light weight, suitability for high-power applications and high energy densities. (University of Washington n.d.) In the coming years, in the Kymenlaakso region, especially Kotka and Hamina are going to be a part of the lithium-ion battery value chain, since pCAM and CAM plants are planned to be built here. (Cursor Oy 2021) The availability of raw materials, processing capability, expertise in R&D, production and recycling processes and the competences in electrification assure Finland as a suitable location for the battery cluster. Another benefit is the existing infrastructure with railway connections and the port of HaminaKotka. The cluster initiates new opportunities in the export sector, but also clears the way to create a circular economy within the battery industry. (Ministry of Economic Affairs and Employment of Finland 2021)

The new battery material plants, however, do not only create jobs in the region and increase Finland's competitive position, but they also require skilled staff. In close co-operation with educational institutions (LUT University, Xamk, Ekami) educational needs are going to be addressed by new courses related to the battery industry and processes. (Cursor Oy 2021)

As the new plants are coming to Kotka and Hamina, Xamk is developing a research and education environment through two projects. The educational part focuses on developing and offering six courses covering the whole battery value chain. The R&D part focuses on developing an industrial symbiosis network within the region, advanced testing and measurement methods, and future development possibilities of RDI activities related to the battery industry.

Education that meets the industry's needs

Concerning the skilled labour needed for the new battery material plants, education on the vocational secondary, tertiary and university levels must be established. Ekami, Xamk and LUT University are responsible for creating courses or

educational possibilities for their level. Xamk will develop the following six courses worth 30 ECTS as part of the education project:

- Battery- and electrochemistry
- Electrical energy storage
- Anode- and cathode-materials manufacturing
- Battery manufacturing and assembly
- Battery material recycling and environmental effects
- Battery technology project work course

Battery- and electrochemistry

In this course, the students will learn about the principles of battery operation and the key concepts in electrochemistry. Furthermore, the components and chemical reactions inside the battery will be explored, alongside the elements and compounds used in batteries. In the practical part, laboratory work related to the topics will be conducted.

Electrical energy storage

This course covers a large variety of different energy storage possibilities and their operating principles. Classifying them based on response time and capacity, calculating the economic profitability, and measuring energy storages for different uses are part of the course.

Anode- and cathode-materials manufacturing

This course focuses on the most common anode and cathode materials used in batteries and their effect on battery operation, service life and intended use. Additionally, the precursor materials manufacturing process, used manufacturing equipment and methods of analysing the manufactured material will be examined. An introduction of analysing equipment could be done by visiting Xamk's BioSampo.

Battery manufacturing and assembly

Besides introducing the fundamentals of manufacturing electrolyte materials and the battery assembly process from ready-made components, this course presents the battery factory equipment and their functions. Moreover, measurement and testing methods for batteries will be demonstrated at a theoretical level and the commissioning and quality control of finished batteries. If possible, a company visit will be organised to see the process in a practical environment.

Battery material recycling and environmental effects

In this course, the battery value chain stages will be covered. The focus lies on the environmental effect of different battery materials and manufacturing processes. Likewise, the students are familiarised with the disassembling and recycling processes, but also with the possibilities of reusing the recycled materials. It might be possible to organise a visit to LUT's laboratory, where some experiments could be demonstrated.

Battery technology project work

The project work course helps the student schedule and manage project work and apply theoretical and practical skills and knowledge gained through the other courses. Working in co-operation with industry players is another important part of this course. The students will learn to analyse and conclude the project's development and then present and report the results adequately.

The educational package of six courses corresponds to the competence needs of the battery industry and can supplement engineering studies. The courses are furthermore working-life oriented and really focus on the skills that will be important when working in the battery industry. They also show the importance of responsible battery production development and sustainable electrification. As there are new battery technologies evolving, it will also be important to offer teacher training to keep the courses and knowledge updated on trends and developments.

In conjunction with the courses offered by LUT and Ekami, a multi-level, working-life-oriented education model will be developed. The courses can also be taken by adults as further education. This guarantees the availability of skilled labour. The training environment also takes responsibility, battery value chain, circular economy and digital solutions into account.

R&D project goals

The overall goal of the R&D project is to promote Finland's position in a responsible battery production and sustainable electrification movement. Especially in the operating region, the project will raise awareness of research importance and employment opportunities within the battery industry field. The possibilities of an industrial park and the circular economy are other important focuses of the project, especially since more investments are planned in the region. This will help to further develop the regional battery cluster and an industrial symbiosis covering the whole value chain. The R&D project responds to the regional development

needs through an innovation environment, development of the battery cluster, low carbon production and sustainable use of natural resources.

Future of the battery industry

New battery technologies are being benchmarked in the R&D part of the project. These new technologies are developed to rival Li-ion batteries in terms of efficiency, cost and sustainability. The following are some examples of new battery technologies, which work much like Li-ion batteries do, just with varied materials.

- Solid-state batteries
- Lithium-sulphur batteries
- Cobalt-free lithium-ion batteries
- Sodium-ion batteries
- Iron-air batteries
- Zinc-based batteries

One of the innovative technologies is solid-state batteries, and the following is more specific information about it in the car industry.

Car batteries power electric components in all cars, with types including liquid, EFB, AGM and gel batteries. In electric cars, lithium-ion batteries are common. These batteries have a cathode and anode separated by an electrolyte, and in solid-state batteries, this electrolyte is solid.

Solid-state electrolytes can be made from various materials. Both battery types use a separator to prevent direct contact between the cathode and anode. These advancements in battery technology are vital for the car industry. (Autodoc. 2023)

Advantages

Small size but high power: Solid-state batteries have an excellent ratio of size and power, so their energy density is higher. A smaller size is an important advantage when high power is desired, but there is limited room for the battery, for example, in an electric car. This is also made possible by the fact that the batteries can have different shapes.

Security: The lithium-ion battery undergoes exothermic reactions that cause them to heat up, which can cause the battery to expand and make it combustible and explosive. In contrast, a solid-state battery does not have a liquid electrolyte that could catch fire, making them safer.

Longer service life: Because these batteries do not have a liquid electrolyte, the electrodes do not suffer from the same corrosion as Li-ion batteries, which makes these batteries even longer-lasting.

Resistant to extreme temperatures: The electrolytes in these batteries are non-combustible, so these batteries can be used at higher temperatures. Also, low temperature is not a barrier, unlike batteries using liquid electrolyte, where the motion of ions is slowed by cold.

Fast charging is possible: The faster the battery recharges, the more it heats up. In these batteries, of course, this is not a problem.

Easier to recycle: The liquid electrolyte in the Li-ion battery contains toxic materials, such as nickel and lithium compounds as well as dimethoxyethane. Solid-state batteries, on the other hand, contain fewer toxic materials, so recycling them is much easier.

Disadvantages

Production is still low: So far, solid-state batteries are not mass produced, as their mass production is so far difficult and expensive. As production expands, production prices are expected to fall due to the scale advantage.

Limited availability of raw materials: These batteries use, among other things, certain oxides, sulphides and solid polymers with limited availability.

Certain technological challenges: Despite considerable progress, solid-state battery technology is still in development. The deformation of solid lithium in the charge and discharge cycles can cause cracks in its surface, which exposes the battery to short circuits. Other challenges related to the number of charge-discharge cycles and electrical conductivity also remain. In addition, the electrolyte material that best conducts ions has not yet been discovered.

Environmental impact of the solid-state battery

From an environmental point of view, the main advantage of these batteries is their higher energy efficiency, while using fewer materials. Despite this, more energy can be reserved for batteries than for traditional Li-ion batteries. According to studies, these batteries can cut the carbon footprint of batteries used in electric cars by up to 39%, which is the most significant environmental benefit of such batteries.

Another key factor in terms of environmental friendliness is that these batteries are lighter. Thus, a vehicle equipped with such a device needs less energy to move.

In addition to the above, the solid-state battery offers ethical advantages: less cobalt and graphite are required to make them. They are produced, in particular, in the Democratic Republic of Congo, where significant shortcomings in working conditions have been identified and where child labour has also been identified. (Autodoc 2023)

All-state solid batteries might be the new commercial battery technology used. Nonetheless, other directions of research take distance from lithium-containing batteries. Batteries based on abundant elements, like magnesium, sodium or zinc, gain more attention, as they have the potential to create cheap batteries with similar benefits to lithium-ion batteries. In the case of Na-ion and Zn-ion batteries, they are seen as a promising substitution for Li-ion batteries. Their main benefits are the cheap and abundant materials used and a reasonable trade-off between capacity and costs. The main drawback with these batteries, however, is that they are not yet fully developed in terms of feasible and efficient properties. (Zhao et al. 2022)

Looking closer at the Na-ion batteries, it becomes clear why this battery technology is seen as one of the most promising alternative battery technologies. Na-ion batteries show similarities with Li-ion batteries, have comparable properties, and can be manufactured in an equivalent way. The ability to manufacture Na-ion batteries in existing Li-ion battery factories with similar equipment, is especially seen as a huge advantage over other evolving battery technologies. However, the batteries also have disadvantages. The lower cell voltage and capacity especially pose challenges to the development of commercial battery production. Despite the challenges and drawbacks, further testing, research and development of Na-ion batteries drive the progress and might lead, in the end, to a new and cheaper commercial battery for electric vehicles and other application uses. (Hasa et al. 2021)

Conclusion

In conclusion, we have seen that the battery industry is rapidly developing despite its challenges. Not only are new battery material plants and other factories along the battery value chain planned, but the educational and research environment is also growing. As part of our project work, Xamk is developing courses to meet the needs of the growing battery industry and research environment. The industry itself is changing quickly and new battery materials and technologies are explored to find safe and sustainable alternatives to lithium-ion batteries or to improve existing battery technologies and to drive the electrification forward.

REFERENCES

Alanazi, F. 2023. Electric Vehicles: Benefits, Challenges, and Potential Solutions for Widespread Adaptation. *Applied Sciences*, 13 (10). E-journal. Available at: <https://www.mdpi.com/2076-3417/13/10/6016> [Accessed 18 July 2023]

Autodoc 2023. Autodocin blogi. Solid state -akku: Teknologia ja ympäristövaikutukset. Web page. Available at: [Solid state -akku: Teknologia ja ympäristövaikutukset ► AUTODOC BLOG](#) [Accessed 3 July 2023]

Cursor Oy. 2021. Finland boosts its position in the battery cluster market – Kotka plant to get an international partner. Web page. Available at: <https://www.cursor.fi/en/2021/11/08/finland-boosts-its-position-in-the-battery-cluster-market-kotka-plant-to-get-an-international-partner/> [Accessed 18 July 2023]

Gallo, A.B., Simões-Moreira, J.R., Costa, H.K.M., Sanots, M.M. & Moutinho dos Santos, E. 2016. Energy storage in the energy transition context: A technology review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 65, 800-822. E-journal. Available at: <https://www.sciencedirect.com.ezproxy.xamk.fi/science/article/pii/S1364032116303562?via%3Dihub> [Accessed 18 July 2023]

Hasa, I., Mariyappan, S., Saurel, D., Adelhelm, P., Kuposov, A.Y., Masquelier, C., Croguennec, L. & Casas-Cabanas, M. 2021. Challenges of today for Na-based batteries of the future: from materials to cell metrics. *Journal of Power Sources*, 482. E-journal. Available at: <https://www.sciencedirect.com.ezproxy.xamk.fi/science/article/pii/S0378775320311769> [Accessed 28 July 2023]

Kotka.fi. 2023. Keltakallion teollisuusalue. Web page. Available at: [Keltakallion teollisuusalue | Kotkan kaupunki](#) [Accessed 29 July 2023]

Ministry of Economic Affairs and Employment of Finland. 2021. New strategy to strengthen Finland's competitiveness in battery sector and to promote climate goals. Press release. Available at: <https://tem.fi/en/-/new-strategy-to-strengthen-finland-s-competitiveness-in-battery-sector-and-to-promote-climate-goals> [Accessed 17 July 2023]

Morris, C. 2023. Should we be excited about Toyota's solid-state battery announcement? *Chargedevs.com*. Web page. Available at: <https://chargedevs.com/newswire/should-we-be-excited-about-toyotas-solid-state-battery-announcement/> [Accessed 1 August 2023]

Peng, W., Yang, J., Lu, X. & Mauzerall, D.L. 2018. Potential co-benefits of electrification for air quality, health, and CO₂ mitigation in 2030 China. *Applied Energy*, 218, 511-519. E-journal. Available at: <https://www-sciencedirect-com.ezproxy.xamk.fi/science/article/pii/S0306261918301739?via%3Dihub> [Accessed 19 July 2023]

Räsänen, P. 2021. Kauppalehti. Kiinalaisyhtiön akkumateriaalitehdas Haminaan etenee, ensivaiheen investointi 200–300 miljoonaa euroa. Web page. Available at: [Kiinalaisyhtiön akkumateriaalitehdas Haminaan etenee, ensivaiheen investointi 200–300 miljoonaa euroa | Kauppalehti](#) [Accessed 29 July 2023]

University of Washington - Clean Energy Institute. Lithium-ion battery. Web page. Available at: <https://www.cei.washington.edu/education/science-of-solar/battery-technology/> [Accessed 18 July 2023]

Yuan, M., Zinck Thellufsen, J., Lund, H. & Liang, Y. 2021. The electrification of transportation in energy transition. *Energy*, 236. Available at: <https://www-science-direct-com.ezproxy.xamk.fi/science/article/pii/S0360544221018120?via%3Dihub> [Accessed 18 July 2023]

Zhang, C., Yan, J. & You, F. 2023. Critical metal requirement for clean energy transition: A quantitative review on the case of transportation electrification. *Advances in Applied Energy*, 9. E-journal. Available at: <https://www-sciencedirect-com.ezproxy.xamk.fi/science/article/pii/S2666792422000348?via%3Dihub> [Accessed 19 July 2023]

Zhao, G., Wang, X. & Negnevitsky, M. 2022. Connecting battery technologies for electric vehicles from battery materials to management. *iScience*, 25, (2). E-journal. Available at: <https://www-sciencedirect-com.ezproxy.xamk.fi/science/article/pii/S2589004222000141> - [Accessed 28 July 2023]

ETUNOJASSA KOHTI KESTÄVÄMPÄÄ RAKENNETTUA YMPÄRISTÖÄ

Marika Kurkinen

Kesäkuun 2023 alussa käynnistyneessä *Etunojassa kohti kestävämpää rakennettua ympäristöä* -hankkeessa on Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu mukana tukemalla Kymenlaakson alueen toimijoita ja alan yrityksiä vihreässä siirtymässä kohti hiilineutraalia ympäristöä. Hankkeella lisätään tietotaitoa rakennusten elinkaaren energia- ja resurssitehokkuudesta sekä vähähiilisydestä huomioiden tuote- ja palveluinnovoinnin merkitys liiketoimintamahdollisuuksien syntymisessä. Hanke on Euroopan unionin osarahoittama. Rahoitus on myönnetty Kymenlaakson liiton myöntövaltuudesta. Hankkeen päätoteuttajana toimii Kouvola Innovation Oy, ja Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu Oy on hankkeessa mukana osatoteuttajana. Hanke päättyy 30.11.2024.

Taustaa

Kouvolan Innovation Oy ja Xamk tekevät tiivistä yhteistyötä Kouvolan ja Kymenlaakson aluekehittämisessä. *Etunojassa kohti kestävämpää rakennettua ympäristöä* -hanke edistää vähäpäästöisemmän Kymenlaakson syntymistä. Hankkeella tuetaan hiilineutraalien ratkaisujen syntymistä ja uusien toimintamallien käyttöönottoa aluksi Kouvolan rakennetussa kaupunkiympäristössä.

Rakennusten ja asuinalueiden lisäksi rakennettu ympäristö käsittää muutkin ihmisen käyttöönsä ottamat alueet, kuten viheralueet, liikenneverkot ja yhdyskuntatekniikan rakenteet. Perinteisten taloudellisten ja teknisten vaatimusten lisäksi rakennetulta ympäristöltä vaaditaan kestävyyttä, energiatehokkuutta, turvallisuutta, terveellisyttä, viihtyisyyttä ja elämyksellisyyttä unohtamatta luonnon monimuotoisuutta. (Gaia Consulting Oy 2020.) Rakennetun ympäristön osuus Suomen energiankulutuksesta ja kasvihuonepäästöistä on merkittävä, sillä se muodostaa kasvihuonepäästöistä kolmanneksen (Rakennusteollisuus s.a.). Merkittäviä ilmastotavoitteita voidaan saavuttaa, mikäli kaupunkeja ja rakennettua ympäristöä suunnitellaan, rakennetaan, ylläpidetään, korjataan ja puretaan kestävällä tavalla. Energia- ja materiaalitehokkaan rakentamisen lisäksi rakennuskannan tulee olla pitkäikäistä sekä vähän huoltoa ja korjausta vaativaa. Kestävät rakennukset säilyttävät arvonsa ja ovat muuntojoustavia, terveellisiä ja viihtyisiä (Rytky s.a).

Kestävä ja vähähiilinen rakennettu ympäristö tarkoittaa myös, että sen käytön aikaiset hiilipäästöt ovat mahdollisimman pienet ja rakentamisen energiankäyttöä ja materiaalipäästöjä pienennetään ilman teknisten ja toiminnallisten vaatimusten tai elinkaaren laadun vaarantumista.

Uutta rakentamislakia seuraavan tarkentuvan lainsäädännön myötä rakennuksen elinkaarivaikutukset ja materiaalien ympäristövaikutukset tulevat huomioiduksi korostuneemmin. Rakennuksen elinkaari muodostuu kehdestä hautaan käsittäen raaka-aineiden hankinnan, rakennustuotteiden valmistamisen, kuljetukset, siirrot sekä itse rakentamisen ja käytön ylläpitoineen ja huoltoineen, kunnes rakennus poistetaan käytöstä ja puretaan pois. Maankäyttö- ja rakennuslain uudistuksen päätavoitteena on muun muassa hiilineutraali yhteiskunta ja samalla rakentamisen laadun parantaminen. (Ympäristöministeriö 2023)

Rakentaminen tarvitsee uudenlaista toimintakulttuuria suunnittelutyöstä alkaen, sillä merkittävimmät päätökset rakennuksen ympäristövaikutuksista tehdään suunnittelussa. Suunnittelun tulisi lähteä entistä enemmän saatavilla olevien uusiomateriaalien ja -komponenttien ehdoilla, mikäli tieto käytettävissä olevista materiaaleista on saatavilla uuden rakennuksen suunnitteluvaiheessa. Materiaalien uudelleenkäyttöä voidaan tehostaa olemassa olevien rakennusten purkukartoituksilla.

Kiertotalousmallissa rakennus nähdään elinkaarensa päässä materiaalipankkina, sillä vanhoja rakennusosia tai materiaaleja käyttämällä neitseellisten raaka-aineiden tarve vähenee, kun materiaalit tuotetaan olemassa olevista rakennuksista tai rakenteista. Urban mining -termi kuvastaa tätä prosessia, jossa tarpeellinen materiaali on saatavilla nykyisistä lähteistä (Gaia Consulting Oy 2020). Kiertotalouden yleistymisessä pääpaino on siinä, kuka tiedon käytettävissä olevista materiaaleista omistaa ja kuinka tieto on saavutettavissa. Hiilidioksidipäästöjä ajatellen kiertotaloustoiminta olisi kuitenkin hyvä pitää paikallisena, koska materiaalien pitkät siirrot jättävät myös oman negatiivisen vaikutuksensa ilmastoon. (RT Rakennusteollisuus s.a.) Potentiaalia päästövähennyksiin löytyy rakennusmateriaalien tuotannossa sekä työmaatoiminnoissa ja maankäytössä. Avainasemassa ovat muun muassa uudet teknologiat ja materiaalitehokkuus.

Rakennuksen hiilijalanjäljen pienentäminen on ensisijainen ratkaisu hiilineutraaliutta tavoitellessa. Ilmastovaikutusta voidaan pienentää myös kohteen hiilikädenjälkeä suurentamalla, kuten aurinkopaneelilla tuotetulla energialla tai käyttämällä puurakenteita hiilensidontaan ja erityisesti uusiomateriaaleja ja -komponentteja. Hiilikädenjälkeä kasvattamalla pyritään löytämään ratkaisu, miten rakennushankkeella voidaan tehdä jotain hyvää eli millaisia ilmastohyötyjä hankkeella voidaan tavoittaa. Hiilikädenjälkeä ei kuitenkaan vähennetä hiilijalanjäljestä elinkaarilaskelmassa. (figbc s.a.)

Kohti vähäpäästöistä Kymenlaaksoa

Hankkeen tavoitteena on vähäpäästöisempi Kymenlaakso. Hinku-kuntana Kouvola on sitoutunut päästövähennystavoitteisiin. Hinku-kunnissa päästöjä vähennetään useimmiten energiatehokkuutta parantamalla ja lisäämällä uusiutuvan energian käyttöä. Kuntien rakennuskannan muodostaessa suuren osan hiilidioksidipäästöistä muun muassa rakennusten lämmityksen, rakentamis- ja kunnossapitopalveluiden kautta ne ovat merkittäviä suunnannäyttäjiä vähähiilisuuden edistäjinä. Mikäli kunnat ottavat ilmastotavoitteet osaksi rakentamishankintojaan, on niillä merkittävä potentiaali ja vaikutusmahdollisuus. Tällä hankkeella vahvistetaan yhteistyötä kaupungin, rakentamisen kiertotalouteen keskittyvien yritysten ja kehittäjäorganisaatioiden välillä. Hankkeen tavoitteita edistetään monialaisesti hyödyntämällä ja syventämällä jo toteutettujen hankkeiden kautta kertynyttä tietoa ja osaamista. Julkisen sektorin luoma vähähiilisuuden kysynnän kasvu tukee muutosta, ja toimenpiteet tuleekin nähdä investointeina tulevaisuuteen. Samalla Kymenlaakson vihreä imago ja vetovoimaisuus kasvavat.

Hankkeen työpakettien keskeiset sisällöt

Etunojassa kohti kestävämpää rakentamista -hanke koostuu kolmesta toimenpidepaketista. Työpaketti 1 antaa lähtölaukauksen ja reunaehdot kehitystyölle. Hankkeen päätoteuttajan Kouvola Innovation Oy:n vastuulla on kytkeä uuskiinteistökanava hankkeeseen sekä olla tukemassa alan yrityksiä tuotekehityksessä. Xamk toimii mukana kehitysryhmässä ja tukee tuotekehityksessä, osaamisen kehittämässä ja viestinnässä.

Työpaketti 2 jatkaa aiheella Etunojaa vahvuuksilla ja yhteiskehittämisellä. Kehitystyö jatkuu tilannekuvan luonnilla, jotta saadaan tietopohjaa ja työkaluja hankkeen etenemiselle. Kouvolan käynnissä ja suunnitteilla olevat kohteet kartoitetaan energiatehokkuuden, kierrätyksen ja vähähiilisuuden osalta. Hankkeessa pyritään tarkastelemaan tarkemmin muutamaa demonstraatiokohdetta, joiden elinkaariarviointia ja elinkaarilaskentaa sekä uusiomateriaalien ja -komponenttien käyttöä hiilineutraaliuden saavuttamiseksi käytetään esimerkkinä laajemman vaikutuksen saavuttamiseksi.

Työpaketti 3 antaa tietoa, tukea ja työkaluja toimijoille. Hankkeen myötä etsitään kestäviä ratkaisuja yhteistyössä kaupungin, Kouvola Innovation Oy:n, Xamkin ja yritysten kesken. Xamk on mukana hankkeessa siirtämällä parhaita vähähiilisuuden ja uusiokäytön käytäntöjä Kymenlaakson alueen toimijoiden käyttöön ja tukemalla yritysten liiketoimintamahdollisuuksia vihreässä siirtymässä. Tuotteiden ja palveluiden innovointia edistetään tukemalla b-to-b-kiertotalouteen erikoistuneita

yriksii. Tausta-aineiston keräämisellä ja sisällöntuotannon kautta Xamk osallistuu järjestämällä kehittämistyöpajoja, luentoja ja infotilaisuuksia. Tavoitteena on lisätä kiinteistö- ja rakentamisalan eri toimijoiden ymmärrystä materiaaleista, energiatehokkuudesta, vähähiilisydestä ja resurssitehokkuudesta. Pitkällä aikavälillä ennustetaan, että kiertotalouteen erikoistuneet yritykset valtaavat alaa niiltä, jotka eivät kykene uusiutumaan. Jos yritykset eivät pysty varautumaan vähähiilisuuden tuomiin haasteisiin, se voi johtaa liikevaihdon pienenemiseen pitkällä aikavälillä. Yritysten taloudellinen kilpailukyky kasvaa kiertotalouteen erikoistuttaessa ja toimii näin etunojassa kohti kestävämpää rakennettua ympäristöä.

Johtopäätökset

Hankkeella pyritään vaikuttamaan Rakennusteollisuuden ja rakennetun ympäristön vähähiilisuuden tiekartassa (Gaia Consulting Oy 2020) tunnistettuihin hiilineutraaliustavoitteiden kohtaamiin haasteisiin, kuten tiedon ja yhteisen näkemyksen puutteisiin. Näitä puutteita korjataan paikalliselta tasolta alkaen *Etunojassa kohti kestävämpää rakennettua ympäristöä* -hankkeella. Todellisten demotasoisten kohteiden elinkaarianalyysien ja uusiomateriaalien käytön lisäämisen kautta luomme rungon Kouvolan kaupungin tulevien uudis- ja purkukohteiden suunnittelu- ja toteuttamistapoihin. Samalla realismi Suomen hiilineutraaliustavoitteista ja tutkimusosaaminen elinkaarilaskennasta ja hiilijalanjälkeen vaikuttavista tekijöistä kestävä ympäristön saavuttamiseksi lisääntyvät.

Hankintaketjussa tehdyt johdonmukaiset valinnat kohti vähähiilisyyttä vievät alaa kestävämpään suuntaan. Tietopohjaa parantamalla vahvistamme alan yhteistä näkemystä, sillä uusien asenteiden ja tiedon jalkautuminen kentälle ei ole vielä kaikille yhteinen visio. Tähän hankkeeseen sitoutuneiden paikallisten b-to-b-kiertotalousyritysten tarjonta ja liiketoiminta kehittyi uusiomateriaalien ja komponenttien lisääntyneen käytön myötä, ja yrityksille syntyy edellytyksiä skaalata prosessejaan laajemmille markkinoille sekä julkisiin hankintoihin paremmilla laatuksiteereillä. Hanke luo edellytyksiä edelläkävijyydelle päästövähennysten, toimintatapojen ja osaamisen kokonaisvaikutusten saralla sekä kasvua rakennetun ympäristön vetovoimaisuudelle. Rakennetun ympäristön vihreämpi imago ja näkyvämpi kestävyys ulospäin ilmenevät koko arvoketjun näkökulmasta aina loppukäyttäjiin asti.

LÄHTEET

Green Building Council Finland s.a. Vähähiilisen rakentamisen neuvontapalvelu. WWW-dokumentti. Saatavilla: <https://elinkaarilaskenta.fi/> [viitattu 15.8.2023]

Raivio, T., Laine, A., Klimscheffskij, M., Heino, A., Lehtomäki, J. 2020. Gaia Consulting Oy. Vähähiilinen rakennusteollisuus 2035 Osa 4. Rakennusteollisuuden ja rakennetun ympäristön vähähiilisyyden tiekartta 2020 - 2035 – 2050 Pdf-dokumentti. Saatavilla: https://www.rt.fi/globalassets/ymparisto-ja-energia/vahahiilisyys_uudet/rt_4.-raportti_vahahiilisyiden-tiekartta_lopullinen-versio_clean.pdf [viitattu 28.8. 2023]

RT Rakennusteollisuus s.a. Rakennuksen elinkaari kestävän rakentamisen lähtökohtana. WWW-dokumentti. Saatavilla: <https://www.rt.fi/Tietoa-alasta/Ilmasto-ymparisto-ja-energia/Kestava-rakentaminen/Rakennuksen-elinkaari/> [viitattu 10.8.2023]

Rytky, A. s.a. Kestävä kehitys haastaa rakennusalaan. WWW-dokumentti. Saatavilla: <https://www.ril.fi/fi/rakennustekniikka/kestava-kehitys-haastaa-rakennusalaan.html> [viitattu 10.8.2023]

Ympäristöministeriö 1.3.2023. Eduskunta hyväksyi rakentamisen päästöjä pienentävät ja digitalisaatiota edistävät lait. WWW-tiedote. Saatavilla: <https://ym.fi/-/eduskunta-hyvakseyi-rakentamisen-paastoja-pienentavat-ja-digitalisaatiota-edistavat-lait> [viitattu 10.8.2023]

DIGITAALISIA RATKAISUJA KIERTOTALOUTEEN

Melina Maunula & Ari Haapanen & Jani Kiviranta
& Carine Fabritius & Jaana Kyhyräinen

Erilaisilla digitaalisilla ratkaisuilla on mahdollista edistää kiertotalouden toteutumista ja siihen liittyvää kehittämistoimintaa eri toimialoilla. Digitaaliset ratkaisut mahdollistavat muun muassa paikkariippumatonta yhteistyötä sekä datan käsittelyä, analysointia ja visualisointia. Digitaalisen talouden ja kiertotalouden rajapinnassa olevaa digikiertotalouskehitystä edistetään sekä verkostoja ja osaamisen lisäystä tukemalla että kehittämällä ja käyttöönottamalla erilaisia digikiertotalouden ratkaisuja.

Kymenlaaksossa on kehitetty digitaalista kiertotalousalustaa, toistaiseksi lähinnä viestintähenkistä Kiertokymi-sivustoa, sekä tehty lukuisia digikiertotalouden kokeiluja. Kehittämistyö luo edellytyksiä monialaiselle TKI-yhteistyölle ja digikiertotalouden innovaatiotoiminnalle sekä alueelliselle kiertotalouskehitykselle linkittyen Hyötyvirta-ekosysteemiin. Artikkelissa esitellään viimeaikaisia toimenpiteitä alustakehityksen tiimoilta sekä toteutettuja kiertotaloutta edistävien digitaalisten ratkaisujen nopeita kokeiluja.

DIKIEKO – Digitalisaation avulla tehoa kiertotalousekosysteemiin -hanke on toteutettu Kymenlaakson liiton myöntämän Euroopan aluekehitysrahaston (EAKR) rahoituksen turvin. Hanke on rahoitettu osana Euroopan unionin covid-19-pandemian johdosta toteuttamia toimia.

Digikiertotalouden kehitystä Kymenlaaksossa

Kiertotalouden edistäminen kuuluu sekä alueellisella, kansallisella että globaalilla tasolla keinoihin reagoida ja sopeutua meneillään oleviin ympäristökriiseihin, kuten ilmastonmuutokseen ja luontokatoon (YM 2022). Kiertotaloudella tarkoitetaan siirtymistä luonnonvaroja kuluttavasta talousmallista toimintatapoihin, joissa kertaalleen käyttöön otetut materiaalit säilyvät käytössä (Ellen MacArthur Foundation 2023). Kiertotalouteen liittyy myös paljon aineettomien resurssien hyödyntämiseen sekä palvelullistamiseen liittyviä näkökulmia. Erilaisilla digitaalisilla ratkaisuilla on mahdollista edistää ja mahdollistaa kiertotalouden toteutumista eri toimialoilla (DigitalEurope 2020).

Digitalisaation ja kiertotalouden rajapintaa voidaan kuvata termillä digikiertotalous (digital circular economy) ja tämän aihealueen innovaatiotoiminnassa nähdään olevan merkittävää liiketoimintapotentiaalia. Kymenlaakson aluekehitystasolla teema poikkileikkaa kahta älykkään erikoistumisen strategian painopistettä (Kymenlaakson liitto 2021), joten aihealueen TKI-toiminnan lisääminen on erittäin luontevaa. Aiheeseen on alueen kehittämissyhtiö Kouvola Innovationin ja Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulun (Xamk) toimesta tartuttu, ja pyrkimyksenä on parantaa kehittämisolosuhteita, aktivoida toimijakenttää ja tunnistaa businessantropologiaa hyödyntäen kohderyhmän kehittämistarpeita sekä tehdä nopeita digikiertotalouden kokeiluja. Merkittävänä innovaatioekosysteemiä vahvistavana tekijänä pidetään tiedonlisäystä ja hyvien esimerkkien jakamista, ja tähän tarkoitukseen hankkeen aikana on toteutettu viestintähenkilinen verkkosivusto Kiertokymi.fi.

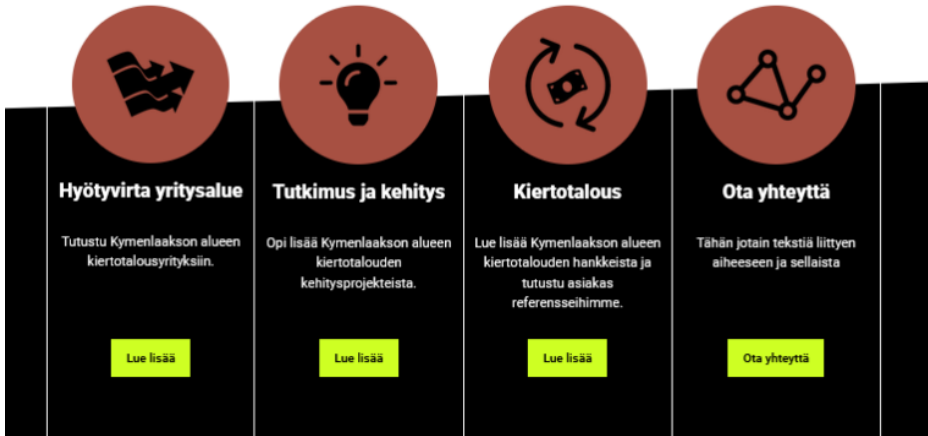
Tässä artikkelissa käydään läpi sivustokehityksen vaiheet tähän saakka sekä jatkokehityssajatuksia. Lisäksi kerrotaan lukuisista kokeiluista, joita Kymenlaaksossa on monialaisessa yhteistyössä toteutettu liittyen digitaalisiin ratkaisuihin, joilla voidaan edistää kiertotalouden toteutumista ja liiketoimintaa. Johtopäätöksenä voidaan todeta, että nopeiden kokeilujen ja porrastetun alustakehityksen kautta on löydetty potentiaalisia tulevia kehittämissuuntia ja polkuja alueellisen digikiertotalouden edistämiseen.

Alustakehitys ja kiertokymi-sivusto

Pilotoitu Kiertokymi-sivusto tarjoaa yrityksille tukea liiketoiminnan kehittämiseen kiertotalouden keinoin. Se kokoaa lähteitä tiedon ja palveluiden äärelle sekä tarjoaa esimerkkejä, kuinka alueen yritykset ovat hyödyntäneet kiertotaloutta omassa toiminnassaan. Lisäksi Kiertokymi tarjoaa tietoa ajankohtaisista tapahtumista ja uutisista. Näin sivusto tukee Kymenlaakson kiertotalousliiketoimintaa ja on osa laajempaa Kouvolaan kasvavaa kiertotalouden Hyötyvirta-yritysekosysteemiä. Alustan ensimmäinen versio, Kiertokymi, on toteutettu DIKIEKO-hankkeessa yhteistyössä Kouvola Innovationin ja Xamkin kesken.

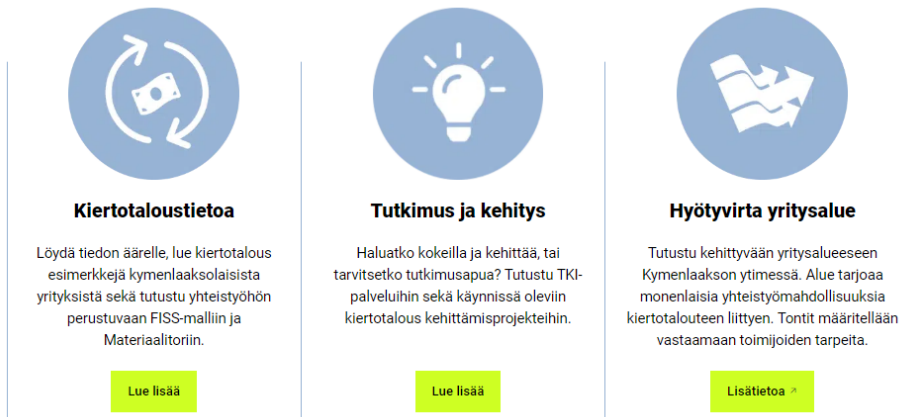
”Kiertokymi tarjoaa tukea liiketoiminnan kehittämiseen kiertotalouden keinoin. Sivusto kokoaa lähteitä tiedon ja palveluiden äärelle, tarjoaa esimerkkejä kiertotaloudesta sekä tietoa ajankohtaisista tapahtumista ja uutisista. Kiertokymi-sivustoa kehitetään yritysten muuttuviin tarpeisiin.” (Kiertokymi.fi) Sivusto toimii tällä hetkellä tiedotusaluslana ja runkona, ja sen kehitys jatkuu kahdessa vaiheessa. Tulevaisuudessa alustalle lisätään ominaisuuksia, jotka tuovat käyttäjälle lisää hyötyä, ja myöhemmin kehitetään alustaa myös palveluntarjonnan näkökulmasta.

Sivustokehitys etenee vaiheittain, ja pilotoitu Kiertokymi-sivusto vastaa hyvin sille tässä kehittämisvaiheessa asetettuihin tavoitteisiin ja tarjoaa erinomaiset lähtökohdat jatkokehitykselle. Kuvien 1 ja 2 välillä näkyy sivuston rakenteen ja ilmeen kehittyminen hankkeen aikana. Alkuun sivuston työnimenä oli Hyötyvirta Hub, ja myöhemmin nimeksi valikoitui laajemmin Kymenlaakson aluevaikuttavuutta kuvastava Kiertokymi.



KUVA 1. Kiertokymi-sivustokehitys 1 (kuva Jaana Kyhryäinen 2022).

Tavoitteet sivuston toiminnoille ja visuaaliselle olemukselle ovat tarkentuneet kehittämistyön edetessä. On pyritty tekemään ratkaisuja, jotka mahdollistavat alustakehityksen ketterän kehittämisen ja sivuston muutokset tulevaisuudessa mahdollisimman jouhevasti.



KUVA 2. Kiertokymi-sivustokehitys 2 (kuva Jaana Kyhryäinen 2023).

Sivuston ylläpito jatkuu hankkeen jälkeen kuten myös sivuston kehittäminen. Jatkokehitystarpeiksi on tunnistettu hankkeen aikana sivuston osallistavuuden ja vuorovaikutteisuuden lisääminen sekä verkostoitumisen edistäminen. Sivustolle lisätään yrityksille lisäarvoa tuottavaa tietoa ja työkaluja sekä selvitetään linkittymistä muihin vastaaviin alustoihin. Myös digitaalisissa palveluissa, hakukonekehityksessä ja kiertotalouslogistiikan huomioinnissa on tunnistettu kehityspotentiaalia, jota olisi mahdollista tuoda osaksi Kiertokymmiä.

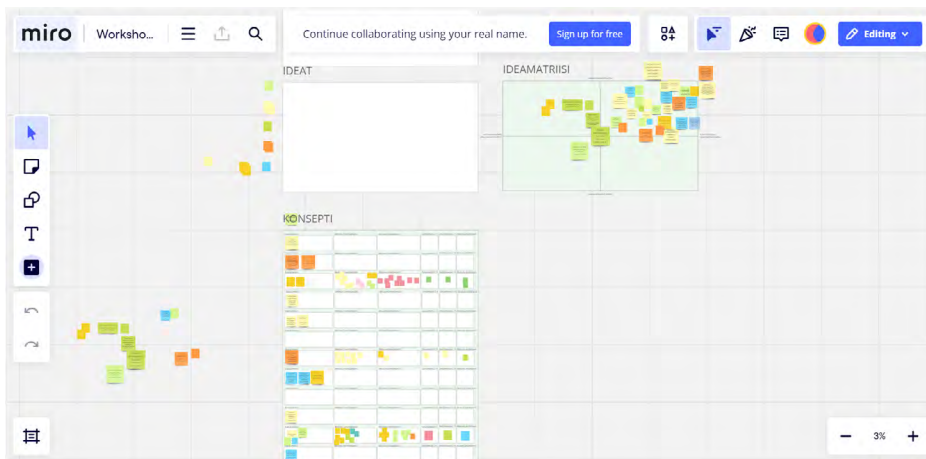
Kiertotaloutta edistävät digitaaliset ratkaisut: kokeilut

Kiertotaloutta edistäviä digitaalisia ratkaisuja kokeiltiin monipuolisesti sekä tunnistettujen yrityskehitystarpeiden pohjalta että osana hankkeen muita toimenpiteitä, kuten sivustokehityksen edistymistä. Erityisesti tekoälysovellusten hyödyntäminen sekä viestinnälliset ja yhteistyötä soveltavat digitaaliset sovellukset tukivat kiertotalouden TKI-hanketyötä monipuolisesti.

Viestinnälliset ja yhteistyötä tukevat digitaaliset sovellukset

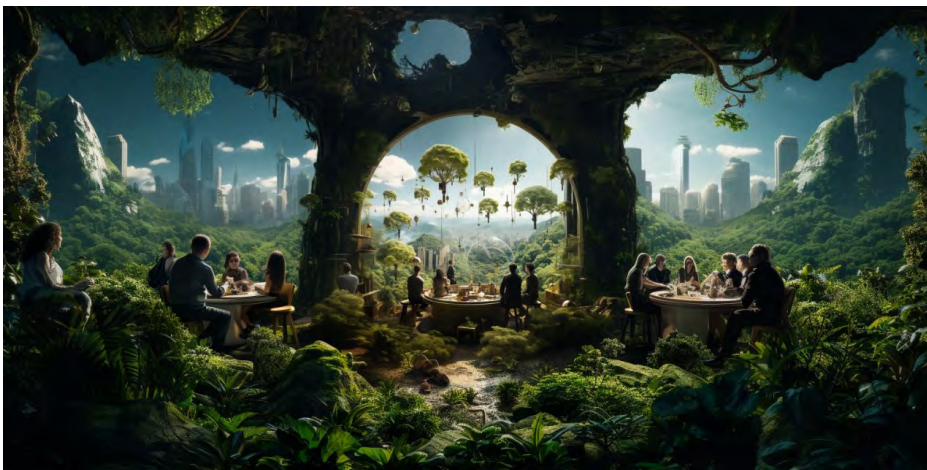
Erilaisia digitaalisia sovelluksia testattiin verkossa tapahtuvien sekä hybridikousten ja -työpajojen tukena. Lisääntynyt etätyö on luonut vahvan tarpeen tämän tyyppisten ratkaisujen käyttöönotolle. Paikkariippumattomuus tukee myös parhaan osaamisen sitouttamista ja löytämistä, mikä on kiertotalouden innovaatioprosesseissa arvokasta. Hankkeessa hyödynnettiin esimerkiksi Howspacea, joka on monipuolisesti hyödynnettävissä oleva yhteistyöalustaratkaisu. Se tukee hybridiympäristössä tapahtuvaa yhteiskehitystä: erityisesti työpajojen tekoälypohjaisia sisältöanalyyssejä voidaan hyödyntää tekemään yhteenvetoja ja sitä kautta ketteröittämään kehittämisprosesseja. Howspace on suunniteltu strategisen yhteistyön kehitystyökaluksi, ja se on organisaatioriippumaton työympäristö. Työkalu tukee organisaatorajapinnat ylittävää yhteistyötä ja tiedonvaihtoa, mitä kiertotalouden kehittämistoiminta edellyttää. Seuraavaksi poimintoja muista hankkeesta hyödynnetyistä työkaluista.

Miro on verkkopohjainen yhteistyötyökalu, joka helpottaa projektien hallintaa ja tiimityöskentelyä. Sen avulla voidaan luoda visuaalisia suunnitelmia ja aikajanoja, jakaa asiakirjoja ja ideoita tiimin kanssa reaaliajassa. Miroa käytettiin muun muassa osallistavien työpajojen työkaluna niin ohjausryhmätyöskentelyssä kuin ideoiden keräyksessä ja toimenpiteiden suunnittelussa. Kuvassa 3 esitellään Miron käyttöä työpajassa ideoinnin ja konseptoinnin tukena.



KUVA 3. Miron hyödyntäminen ideamatriisin ja konseptoinnin tukena (kuva Jani Kiviranta 2023).

Midjourney on visuaalinen tekoälypalvelu, jolla voi nopeasti tuottaa kuvia. Huomioitavaa on, että tekoälyllä generoiduilla kuvilla ei ole tekijänoikeuksia ja siksi tekoälykuvia on hyvä käyttää harkiten. Midjourneyä käytettiin muun muassa viestintämateriaaleissa sekä kuvaluonnosten tekemiseen ja ideoiden visualisoimiseen. Kuvassa 4 esimerkki Midjourneyllä tuotetusta kuvasta.



KUVA 4. Midjourneyllä tuotettu kuva vihreän siirtymän edistämisen teemasta (kuva Midjourney, Jani Kiviranta).

Chat-GPT:n mahdollisuuksiin perehdyttiin hankkeen aikana kohtuullisen monipuolisesti. Kielimalliin pohjautuvaa tekoälyä hyödynnettiin eri laajuuksissa ja sen tiimoilta pystyttiin tunnistamaan joitakin potentiaalisia tulevia kehittämissaihoita liittyen kiertotalouden edistämiseen. Toisaalta esille tulivat myös paljon media-näkyvyyttä ja innostusta aiheuttaneen työkalun heikkoudet, ja pohdintoja käytiin

muun muassa työkalun käytöstä oppimisen ja opintojen tukena ja työkaluna sekä tähän liittyvistä haasteista.

360-asteen kuvateknologia ja interaktiivisuus esittelyssä ja oppimisympäristönä

360-asteen kuvateknologiat sekä interaktiiviset ratkaisut mahdollistavat paik-kariippumatonta tilojen ja sisältöjen esittelyä kokemuksellisesti. Tiloista voidaan tehdä 360-kuvauksen avulla virtuaalivierailuihin ja esittelyihin soveltuvia ympäristöjä, joiden hyödyntämiseen voidaan käyttää 3D-laseja. Kokeilut tukeutuivat osaltaan Xamkin Future Experience Lab FUELin toimintoihin. Kokeiluissa muun muassa kuvattiin Xamkin TKI-tiloja 3D-printtauksen tutkimuslaitteistojen esittelyn tuottamiseksi. Lisätiedon esittämiseen ja kuvamateriaaleja yhdistelemään käytettiin Thinglink-sovellusta.

Kokeiluja tehtiin sekä liittyen tilojen kuvaamisen ja hyödyntämisen että CAD- ynnä muiden suunnittelutyökalujen integroinnin osalta. Kokemukset sovellusten hyödyntämisestä kiertotalouden innovaatiotoiminnassa ovat erittäin lupaavia, mutta niihin liittyy myös haasteita. Nopeiden kokeilujen kautta on pystytty tunnistamaan potentiaalisia tulevia hyödynnyskohteita sekä osaamis- ja teknologiatarpeita.

3D-kvantamisen ja suunnittelun työkalujen hyödyntäminen

Hyötyvirta-alueesta ja kiertotalouskeskuksesta on luotu visualisoitu 3D-mallinus, jota oli tarkoitus hyödyntää toimintojen ja rakennuksen sijoitteluun suoraan 3D-skannattuun karttamallipohjaan. Osatutkimuksen tarkoitus oli avata digitaalisuuden hyödyntämisen mahdollisuutta rakennussuunnittelun ja projektin lähtökohtien määrittelyyn. Kokeiluja tehtiin yhdessä Kouvolan kaupungin paikkatietoasiantuntija Tuomo Mäläskän kanssa, mikä mahdollisti Trimble-alustan hyödyntämisen kokeiluissa. Alustaa hyödynnettiin rakennuksen sijoittelussa (kuva 5).



KUVA 5. Näkymä VT15:n suunnalta (kuva Ari Haapanen 2023).

Trimble liittyy datan innovatiiviseen yhdistämisen hyödyntämiseen yhdellä alustalla uuden huipputeknologian avulla. Toisin sanoen alusta kokoaa uuden skannatun 3D-karttatiedon pohjalle kaupunkiympäristöjen infran ja mahdollistaa uuden suunnittelun jo rakennettuun ympäristöön, jota parhaimmassa tapauksessa voidaan tarkastella oikeassa kontekstissa reaaliajassa. (Trimble 2023)

Hankkeessa toteutettu kokeilu keskittyi nyt testaamiseen kiertotalouskeskuksen osalta ja sen sijoittamiseen Hyötyvirta-alueelle varatulle tontille (kuva 6). Samalla testattiin VR-lasien käyttöä Trimble-ympäristössä rakennuksen hahmomallin osalta (kuva 6).



KUVA 6. Sijoittelu varatulle tontille (kuva Ari Haapanen 2023).

Patenttitiedon hyödyntämisen tehostaminen keinoälysovelluksin

Yhtenä kokeiluna perehdyttiin Xamkissa tuotetun IPR-Suomi-sovelluksen käyttöön ja patenttitietojärjestelmien hyödyntämisen mahdollisuuksiin. Kokeiluun liittyi ensin Kymenlaakson kiertotaloustoimijoiden listaamisen näkökulma, mutta pian syntyi ajatus hahmotella pidemmälle viety patenttitiedon hyödyntämistä helpottava työkalu. Yhteistyötä tehtiin Dataamo-hankkeen ja patenttitoimisto Leitzinger Oy:n kanssa. Data-analytiikan koulutusohjelman yhteistyössä ja digitaalisen tiedonhallinnan tutkimusyksikkö Digitalian-kanssa pohdittiin mahdollisuuksia hyödyntää keinoälyä patenttitiedon läpikäymiseksi vähähiilisen betonireseptiikan aihealueessa. Nopea kokeilu osoitti tekemisen haasteellisuuden, mutta myös piilevän kehittämispotentiaalin, johon halutaan tarttua TKI-toiminnassa tulevaisuudessa.

Kiertotalouden opasaineiston kokemuksellinen visualisointi

Kokeilimme tilaamaamme ja AFRYn laatiman Kiertotalouden opasaineiston visualisointia Thinglink-alustalle. Jaoimme raportin Purkupuusta biohiileksi osuuden pieniksi tekstikokonaisuuksiksi, jotka sijoitimme kappaleiksi aihetta visualisoivien valokuvien päälle. Aloituskäytännöllä on esitetty oheisessa kuvassa 7. Thinglink-kierroksella kuvien päällä olevista tekstilinkeistä avautuu lisätietoa aiheesta, ja kokemuksen avulla voi syventyä biohiilen valmistusprosessista aina pyrolyysilaitoksen lupahakemusohjeisiin asti. Kokemuksellinen Thinglink-alusta mahdollistaa tiedon tarjoamisen helposti lähestyttävään muotoon. Opasmateriaalin visualisointi liitetään osaksi Kiertokymi-sivustoa.



Purkupuusta biohiileksi



KUVA 7. Kiertotalouden opasaineiston kokemuksellinen visualisointi Thinglink-alustalla (kuva Carine Fabritius 2023).

Verkostodatan kerääminen ja verkostokartoitusten tuottaminen

Kiertotalouskehitys tapahtuu usein yritysten ja toimialojen rajapinnoilla, joilla materiaali-, osaamis-, tila- ynnä muut resurssit saadaan kohtaamaan tavalla, joka lisää toiminnan materiaalitehokkuutta ja vähentää ympäristön kuormitusta. Kiertotalouden ekosysteemikehitys vaatii siis verkostojen muodostumista ja pohjautuu yleensä olemassa olevalle yhteistyölle ja kehittämispotentiaalin ja puuttuvien resurssien tunnistamiselle.

Tämän edistämiseksi toteutettiin suunnitelma verkostokartoituksen toteuttamisesta Hyötyvirta-ekosysteemissä. Tehtävään liittyi opinnollistamista palvelumuotoilukoulutuksessa, ja yhteistyötä tehtiin verkostokartoituksen ratkaisuja kehittävän Uotta Oy:n asiantuntijoiden kanssa. Yhteistyön kautta saavutettiin näkemys siitä, miten verkostotietoa kannattaisi kerätä, miten tämä työ voitaisiin käytännön tasolla toteuttaa ja miten tuloksena saatavaa verkostokarttaa hyödyntää.

Lisäksi suoritettiin nopeita kokeiluja liittyen kiertotalouden TKI-verkostotiedon keräämiseen innovaatioportfolio- ja asiakkuuksien hallintajärjestelmistä. Datan keräämiseen tunnistettiin liittyvän haasteita liittyen sekä kiertotalouden TKI-yhteistyön tunnistamiseen että kerätyn datan kattavuuteen (Maunula & Kiviranta 2023). Aiheen tiimoilta tunnistettiin useita potentiaalisia jatkotutkimus- ja jatkokehitysaiheita. Tarkempi näkemys kiertotalouden TKI-verkostoista Kymenlaaksossa tukisi

aluekehitystoimenpiteiden kohdennusta ja toteutusta lisäten näin kehittämistoiminnan tehokkuutta ja vaikuttavuutta.

Jäteasemalle tuotavien kuormien tilavuusmäärittely digiavusteisesti

Konenäköä hyödynnetään jo nyt teollisuudessa suurissa määrin. Tulevina vuosina on myös odotettavissa merkittäviä teknologiaharppauksia. Konenäköä hyödynnetään esimerkiksi moderneissa pullonpalautusautomaateissa, mistä hyvä esimerkki on norjalainen Tomran R1-palautuslaite. Perinteisiin automaatteihin syötetään yksi pullo kerrallaan, mutta Tomran R1-palautuslaitteeseen voidaan kaataa kerralla yli sata pulloa tai tölkkiä. Laite lajittelee pullot ja tölkit mekaanisen lajittelun sijaan paineilman avulla. Valmistajan mukaan laitteesta löytyy maailman ensimmäinen 360 asteen kamerapohjainen juomapakkauksen tunnistustekniikka. Konenäköä on myös hyödynnetty tekstiilijätteen lajittelussa. (Markus Tiainen, tulossa)

Kymenlaakson jätteen kanssa käydyissä keskusteluissa nousi yhtenä keittämis-kohteena esille tarve ratkaisulle, jolla voitaisiin määrittellä jäteasemalle tuotavien kuormien tilavuutta. Tietojenkäsittelyn koulutusohjelmaan kohdistuvan TKI-hankkeen opinnollistamisen kautta lähdettiin selvittämään olemassa olevia ratkaisuja ja kehittämään LiDAR-valotutkaa hyödyntävää ratkaisua. LiDAR-tekniikassa käytetään valoa pulssilaserin muodossa mittaamaan etäisyyksiä. LiDAR-laitteisto lähettää valopulsseja esineisiin ja palauttaa ne takaisin skannerille. Palautuneet valon pulssiarvot muodostavat tarkan kolmiulotteisen mallin esineen muodoista ja yksityiskohdista. Tästä datasta voidaan muodostaa pistepilviä. LiDAR-laitteen kolme pääkomponenttia ovat skanneri, laseri sekä GPS-vastaanotin. (Markus Tiainen, tulossa)

Tekeillä olevan opinnäytetyön tavoitteena on selvittää, mitä mahdollisuuksia olisi mitata jäteasemalle saapuvan kuorman, kuten peräkärryn, tilavuus. Opinnäytetyössä syntyvällä mobiilisovelluksella pystytään selvittämään tilavuus ja hinnoittelemaan kuormat tarkemmin. Sovelluksessa on tarkoitus hyödyntää Applen uusimmista lippulaivamalleista löytyvää LiDAR-valotutkaa. Sovelluksen tavoite olisi saada siitä hyvä työkalu jäteaseman työntekijöille. Tärkeitä ominaisuuksia ovat helppokäyttöisyys ja prosessin nopeus. Sovelluksesta on myös hyötyä asiakkaille, kun kuormien tilavuudet voidaan laskea tarkemmin nykyisen arvioinnin sijaan. (Markus Tiainen, tulossa)

Kestävyydatan esittäminen ja hyödyntäminen

Kestävää kehitystä ja kiertotaloutta voidaan edistää hyödyntämällä sovelluksia, jotka mittaroivat ja visualisoivat kehittämistyön tuloksia. Tällaisten ratkaisujen hyödyllisyyden arvioimeksi tehtiin muutamia kokeiluja. Kokeilluista työkaluista MayorIndicators on kaupunki- ja aluetoimijoille tarkoitettu kestävyystyökalu, kun taas Impact OS dashboard on AskKaukon kehittämä ratkaisu yritysten ja hankkeiden tarpeisiin. Lisäksi markkinoilla on paljon toimialakohtaisia tai tiettyyn vastuullisuussindikaattoriin liittyviä työkaluja, joista kokeiltiin Sustainable Travel Finland -ohjelman Matkailualan hiilijalanjälkilaskuri -työkalua.

MayorIndicators-sovelluksesta tarkasteltiin etupäässä Kymenlaakson ja sen kaupunkien dataa, mutta myös vertailuominaisuutta, jossa voi verrata kuntia tai alueita toisiinsa. Sovellus vastaa tarpeeseen suorittaa aluetasolla eri kestävyden indikaattorien kehitystä. Tätä tietoa voidaan edelleen hyödyntää aluekehitystyön seurannassa ja raportoinnissa. Raportointi nojautuu YK:n Agenda 2030 -viitekehityksen 17 kestävä kehityksen tavoitteelle ja sen alatavoitteisiin (MayorIndicators 2023). Se myös mahdollistaa syventymisen raportoinnin taustadataan ja auttaa sen käsittelyssä.

Kokeilussa havaittiin, että kuntien vertailu paljastaa nopeasti alueellisia erikoispiirteitä liittyen esimerkiksi energiantuotantomuotoihin tai ikä- ja kaupunkirakentamiseen. Monet taustalla vaikuttavista tekijöistä ovat hitaita muuttavia, joten vertailussa kannattaa kiinnittää huomioita siihen, mitä vertailukohtia valitsee tarkasteltavaksi. MayorIndicators on kuitenkin monipuolisesti hyödynnettävissä ja auttaa tiivistämään datasta kokonaisnäkemyksiä kattaen sekä sosiaalisen, ekologisen että taloudellisen kestävyden osa-alueita monipuolisesti. Syksyllä 2022 lisätty kattava Syken hiilijalanjälkidata mahdollistaa myös hiilijalanjälkilaskentaa. (MayorIndicators 2023)

AskKaukon Impact OS tarjoaa dashboardin esimerkiksi hankkeen tulostietojen esittämiseksi sekä tuloksellisuuden seuraamiseksi (AskKauko 2023). Niin sanotut tilahuoneet koostetaan asiakkaan tarpeen mukaan. Näkymät voivat olla erilaisia, mutta niiden tarkoituksena voi olla esimerkiksi osoittaa hankkeen tai ohjelman edistymistä ja tuloksellisuutta. Käytännössä kiertotalouden osalta ongelmatilanne on sama kuin TKI-verkostodatan keruussa: lähtödatan saatavuus ja luokittelu kohtaamaan kiertotalouden monialaisuutta on nykyisellään haastavaa. Käytettävään dataan liittyvät luotettavuuden, kattavuuden tai tarkkuuden ongelmat rajoittavat toistaiseksi vastaavien ratkaisujen hyödynnettävyyttä kiertotalouden kontekstissa. Visualisoitua dataa ja kokonaisnäkemyksen luomista tarvitaan kiertotalouden innovaatiotoiminnan tueksi, joten kehittämistyö vastaavien ratkaisujen tiimoilta nähdään erittäin tärkeänä.

Matkailualan hiilijalanjälkilaskuri on työkalu, jonka alkuvaiheen kehittämiseen myös Xamk on osallistunut (Xamk 2020). Maksutta saatavilla oleva työkalu on kehitetty matkailualan pk-yritysten käyttöön, ja se mahdollistaa omatoimisen hiilijalanjälkilaskennan. Laskuri sisältää kattavasti matkailuliiketoiminnan näkökulmasta relevantteja päästökerrointietoja ja on käyttöliittymältään suhteellisen helppo (Visit Finland 2022). Laskuri myös koostaa laskelmasta koontinäkymän. Hiilijalanjälkilaskenta vaatii työkalusta huolimatta jonkin verran perehtymistä, ja eritoten lähtötietojen kerääminen voi ensimmäisellä kerralla olla haasteellinen ja hidas työvaihe. Siksi onkin suositeltavaa tehdä ensimmäinen laskelma karkeammalla tasolla ja laajentaa ja tarkentaa sitä pikkuhiljaa. Laskennassa kannattaa painottaa toiminnan kannalta suuruudeltaan merkittäviä päästölähteitä sekä niitä, joihin halutaan tai voidaan tehokkaasti vaikuttaa. Hiilijalanjälkilaskenta mahdollistaa vähähiilisyysyteen liittyvien kehittämistavoitteiden tehokkaan asettamisen ja seurannan. Esimerkiksi hankkeen aikana restonomikoulutusyhteistyössä tehdyssä vastuullisen matkailun kehittämisen tarkastelussa hiilijalanjälkilaskennan esteeksi muodostuivat kuntaomisteisessa organisaatiossa eriteltyjen lähtötietojen saatavuuden haasteet (Maunula & Samaniego 2023).

Ylipäättään kestävyysdatan esittämisen ja hyödyntämisen ongelmatiikka liittyy nykyisellään paljolti datan saatavuuteen ja luokitteluun. Oletettavissa on, että tämä tulee muuttumaan ja dataa tulee jatkuvasti saataville. Yrityskohtaisesti toimijoilla on myös mahdollisuudet kerätä dataa ja analysoida omaa toimintaansa. Lisäarvolista olisi tukea myös alue- ja toimialakohtaista sekä verkostokohtaista analyysia, mikä tukisi olennaisesti kiertotalouskehitystä.

Johtopäätökset

Johtopäätöksenä voidaan todeta digikiertotalouteen liittyvän merkittävää alueellista kehittämispotentiaalia. Monialaisen verkostotoiminnan vahvistaminen sekä alusta- ja ekosysteemikehityksen tukeminen nähdään edellytyksenä alueelliselle kiertotalouskehitykselle. Olemassa olevien digitaalisten ratkaisujen nopeiden kokeilujen pohjalta on pystytty tunnistamaan huomattava määrä sellaisenaan kiertotaloustoimijoiden käyttöönotettavissa olevia sovelluksia sekä suuntia tulevalle digikiertotalouden TKI-toiminnan kohdentamiselle.

Teknologinen kehitys on hyvin nopeaa, mutta toisaalta myös käsillä olevat ympäristökriisit vaativat pikaisesti vaikuttavia ratkaisuja vihreän siirtymän toteutumiseksi. Monialainen kehittämistyö asettaa haasteita nykyisille kehittämisrakenteille, mutta kokemuksemme digikiertotaloushankkeen tuloksellisuudesta on hyvin lupaava. Toteutetut nopeat kokeilut sekä alustakehitys tarjoavat hyvät lähtökohdat tulevalle digikiertotalouden aluekehitykselle Kymenlaaksossa.

LÄHTEET

AskKauko. 2023. ImpactOS by AskKauko. WWW-lähde. Saatavilla: www.askkauko.com [viitattu: 21.9.2023]

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: 16.9.2023]

Ellen MacArthur Foundation. 2023. What is Circular Economy? WWW-lähde. Saatavilla: <https://ellenmacarthurfoundation.org/topics/circular-economy-introduction/overview> [viitattu: 2.10.2023]

Kiertokymi. 2023. Kiertokymi. WWW-lähde. Saatavilla: www.kiertokymi.fi [viitattu: 27.9.2023]

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: 15.9.2023]

Maunula, M. & Kiviranta, J. (tulossa) Challenges in mapping interorganisational relations in regional circular economy: Case Xamk. Xamk Beyond 2023. Xamk Research, Forthcoming.

Maunula, M. & Samaniego, T. 2023. Työelämäprojekti kestävän kehityksen datan hyödyntämisestä Salpalinja-museossa. Xamk Next -verkkolehti. Julkaistu: 21.4.2023. Saatavilla: <https://next.xamk.fi/vastuullisesti/tyoelamaprojekti-kestaavan-kehityksen-datan-hyodyntamisesta-salpalinja-museossa/>

MayorsIndicators. 2023. Mayors Indicators. WWW-lähde. Saatavilla: <https://www.mayorsindicators.com/> [viitattu: 8.10.2023]

Tiainen, M. (tulossa) Konenäön hyödyntäminen kiertotaloudessa: LiDAR-valotutkan käyttö jäteasemalle tuotavien kuormien tilavuusarvioinnissa. Xamk, Tietojenkäsittelyn koulutusohjelma.

Trimble. 2023. WWW-lähde. Saatavilla: www.trimble.com [viitattu: 25.9.2023]

Visit Finland. 2022. Maksuton työkalu matkailuyritysten ilmastotyöhön. WWW-lähde. Saatavilla: <https://co2calc.visitfinland.fi/>. [viitattu: 6.10.2023]

Xamk. 2020. Vastuullinen matkailija haluaa tietää hiilijalanjälkensä – Hiilijalanjälkilaskuri matkailuyritysten apuna. Julkaistu: 9.6.2020. Saatavilla: <https://www.xamk.fi/tiedotteet/vastuullinen-matkailija-haluaa-tietaa-hiilijalanjalkensa-hiilijalanjalkilaskuri-matkailuyritysten-apuna/>

Ympäristöministeriö (YM). 2022. Kiertotalouden strateginen ohjelma. WWW-lähde. Saatavilla: <https://ym.fi/kiertotalousohjelma> [viitattu: 17.8.2023]

VÄHÄHIILINEN RAKENTAMINEN KIERRÄTYSMATERIAALEILLA

Maunu Kuosa & Tuija Korpela & Paulus Kiviranta
& Sirpa Rahiala & Satu Huurtomaa

Kierrätysmateriaaleja käyttämällä voidaan parantaa rakentamisen ekologisuutta sekä edistää EU-direktiivin vaatimusta rakennusjätteen 70 prosentin kierrätysasteesta. CIRCON-hankkeen tavoitteena on kehittää sekä vähähiilisiä rakennusmateriaaleja kierrätysmateriaaleista että rakennus- ja purkujätteen hyödyntämistä rakentamisessa. Biohiili rakennusmateriaaleissa -hankkeessa puolestaan tutkitaan biohiilen hyödyntämistä erilaisissa rakennusmateriaaleissa, kuten betonissa, maaleissa ja eristemateriaaleissa. Tässä artikkelissa esitetään kirjallisuudessa tehtyjä havaintoja sekä betoniin että biohiileen liittyvistä mahdollisuuksista rakennetun ympäristön kestävässä ratkaisuisissa. Lisäksi esitellään biohiilihankkeessa tehtyjen testien tuloksia biohiilibetonista.

Biohiili rakennusmateriaaleissa -hanke toteutettiin aikavälillä 1.9.2021–30.9.2023. CIRCON – osaamista ja materiaaleja vähähiiliseen ja kiertotalouteen perustuvaan rakentamiseen -hanke alkoi 1.1.2022 ja jatkuu 31.10.2024 asti. Ensimmäisen hankkeen päärahoittajana toimi Euroopan aluekehitysrahasto ja toisen opetus- ja kulttuuriministeriö. Hankkeita hallinnoi Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu.

Rakentamisen kiertotalous

Rakennusmateriaalien uudelleenkäytöllä ja kierrätyksellä voidaan vähentää jätettä sekä tuotannossa syntyviä päästöjä, ja lisäksi rakennusmateriaalien kierrätys vähentää luonnonvarojen käyttöä. EU on asettanut tavoitteeksi nostaa rakennus- ja purkujätteen hyödyntämistä 70 prosenttiin. Taloudellisten hyötyjen saavuttaminen on myös mahdollista kierrätysmateriaalien käytön lisäämisellä ekologisten hyötyjen lisäksi; usein tarvitaan vähemmän resursseja vanhan materiaalin uusio- käyttöön.

Rakentamisen kiertotaloutta voidaan jakaa eri osioihin riippuen rakennuksen elinkaaren vaiheesta: purkumateriaalikiertojen lisääminen, rakennuksen ja sen osien pitkäikäisyyden edistäminen ja rakennusten käyttöasteen lisääminen (Hakaste 2022). Rakentamisen kiertotaloudessa haasteita asettaa etenkin kelpoisuuden

arviointi, ja tätä sääntelee esimerkiksi EU:n rakennustuoteasetus. Kierrätysmateriaalien käyttöasteen lisäämiseksi tarvitaankin lisää tutkittua tietoa, tietoisuuden lisäämistä alalla sekä sääntelyn kehittämistä.

Biohiili on hiiltä muistuttava aine, joka muodostuu orgaanisen aineen hajoamisesta ilman happea korkeissa lämpötiloissa. Biohiiltä pidetään laajalti keinona sitoa hiilidioksidia. Biohiilen käyttö erilaisissa sovelluksissa auttaa myös kierrättämään orgaanista ja muovista jätettä ja luomaan lisää työpaikkoja. Biohiilen rakennetta ja ominaisuuksia voidaan muuttaa pyrolyysilämpötilalla, lämmitysnopeudella ja paineella. Biohiiltä on aiemmin käytetty muun muassa maan parannuksessa, jätteiden hallinnassa, geotekniikassa ja päästöjen vähentämisessä ilmastoon. Viime vuosina biohiilen käyttöä on alettu tutkimaan rakennusmateriaaleissa, ja biohiilen käytöllä rakennusmateriaaleissa on mahdollista sitoa hiiltä rakennuksiin.

Hankkeiden taustaselvityksenä tähän artikkeliin on koottu kirjallisuushavaintoja kierrätysmateriaalien ja biohiilen käytöstä rakennusmateriaaleissa keskittyen betoniin, tiiliin ja laattoihin.

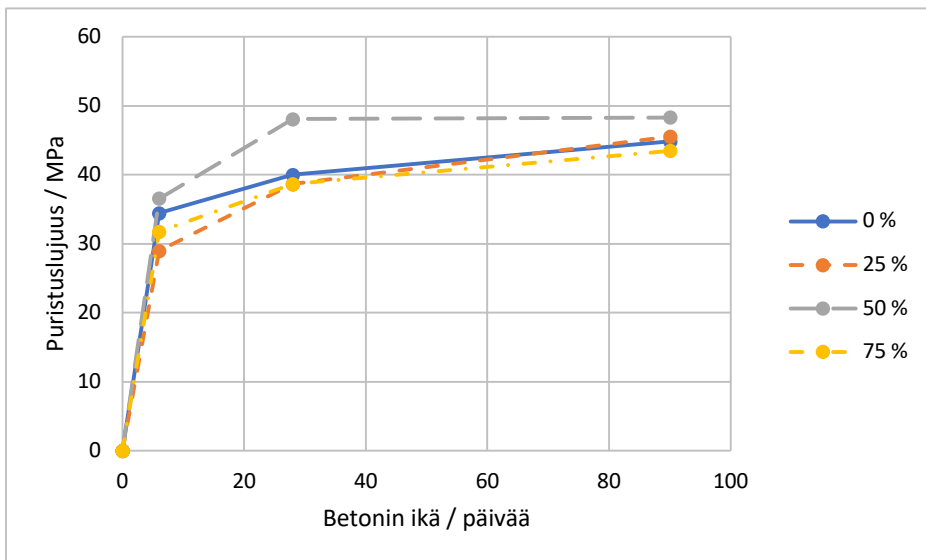
Kierrätysmateriaaliratkaisut betonissa

Betonissa sekä sementtiä että kiviainesta voidaan korvata kierrätysmateriaaleilla. Sementin valmistuksen ongelmana on etenkin sen tuottama merkittävä hiilidioksidipäästö, ja laatukiviaineksen saatavuudessa voi olla nykyään haasteita. Koiviston (2020) mukaan betonin valmistuksessa käytettäviä mahdollisia seosaineita ovat muuan muassa betonimurske, asfalttimurske, tiilimurske, jätteenpolton pohjakuona, lentotuhka, pohjatuhka, masuunihiekka ja vaahtolasimurske. Portlandsementtiä korvaavia materiaaleja ovat esimerkiksi lentotuhka, mikrosilika ja jauhettu rakeistettu masuunikuona (kuonasementti). Kierrätysbetonilla voidaan korvata karkeaa kiviainesta ja jätelasilla hienoa kiviainesta (hiekkaa). Muun muassa Tanskassa rakennettiin kaupunkirivitalo, jossa käytettiin kierrätysmateriaaleja, kuten kierrätysbetonia (Betoni.com s.a.).

Jätebetonia syntyy Suomessa vuosittain noin 1,5 miljoonaa tonnia, puolet purkutyömaalla, loput tehtaiden ja työmaiden ylijäämänä (Pennanen 2020). Tästä määrästä hyötykäyttöön saadaan 70–80 prosenttia (Nieminen 2016, Vakkuri 2011). Purkubetonin yleisin käyttökohde on rakentaminen (Asp 2020, Nieminen 2016, Vakkuri 2011). Uudistunut MARA-asetus kevensi sivuvirtojen ja jätteiden käyttöä maarakentamisessa. Nyt sallitaan purkubetonin käyttö väylä- ja kenttärakenteissa sekä teollisuus- ja varistorakennusten pohjarakenteissa (Mara-asetus s.a. 2017). Käyttö uusiobetonin raaka-aineena on mahdollista, mutta se on ympäristöluvan alaista toimintaa (Asp 2020).

Kirjallisuudesta löytyy esimerkkejä kierrätysmateriaalien hyödyntämisestä betoniseoksessa. Esimerkiksi Maierin ja Durhamin (2012) tutkimuksessa havaittiin kierrätysmateriaalien määrän vaikuttavan tuoreen ja kovettuneen betonin ominaisuuksiin. Betonin testauksessa korvattiin yhtä suuri osa portlandsementistä ja kiviaineksesta kierrätysmateriaaleilla, esimerkiksi 25 prosenttia sementistä ja 25 prosenttia kiviaineksesta. Tutkimuksessa kierrätys ja neitseelliset komponentit olivat seuraavia: sementti = kuonasementti + portlandsementti; karkea kiviaines = kierrätysbetoni + neitseellinen kiviaines; hieno kiviaines = jätelasi + neitseellinen hiekka. Näitä verrattiin betoniin, joka koostui portlandsementistä, karkeasta kiviaineksesta ja hiekasta. (Maier & Durham 2012)

Lujuuden ja kestävyuden suhteen korvaavaan, 50 prosentin osuuteen asti kierrätysmateriaalin käyttö osoittautui hyödylliseksi verrattuna betoniin, joka oli valmistettu neitseellisistä materiaaleista. Betoni, jossa oli 50 prosenttia kierrätysmateriaalia, sai suurempia lujuusarvoja (48 MPa), ja toiseksi tuli neitseellinen betoni (45 MPa). Kuvassa 1 esitetään graafisesti normalisoituna puristuslujuuden (MPa) kehittyminen betonin kovettumisajan (päivää) funktiona eri kierrätysmateriaalin koostumuksilla (0 %, 25 %, 50 % ja 75 %) verrattuna neitseelliseen betoniin, jossa on 0 prosenttia kierrätysmateriaalia. Kuva 1 on piirretty lähteen Maier ja Durham (2012) tiedoilla. (Maier & Durham 2012)



KUVA 1. Keskimääräinen normalisoitu puristuslujuuden kehittyminen verrattuna neitseelliseen betoniin (kuva Maunu Kuosa).

Jäätymis-sulamiskestävyyttä tarkasteltiin kestävyyskertoimella (durability factor), jolloin 50 prosentin kierrätysmateriaalin osuuden jälkeen se alkoi pudota. Kestävissä kappaleissa ilman määrä oli 6,5 prosenttia. Alkuun ei uskottu, että

kierrätysmateriaalien lisääminen lisäisi betonin lujuutta. Kierrätysbetoni ja lasi heikentävät kuitenkin betonin työstettävyyttä. Kierrätysmateriaalien 50 prosentin osuudella lujuus, läpäisevyys ja sulamis–jäätymisarvot olivat kuitenkin hyviä. (Maier & Durham 2012)

Uusiobetonin käytännön sovellutuksia on Suomessa vielä vähän (Asp 2020). Euroopassa murskattua betonia käytetään yleisesti uusiokiviaineksena betonin tuotannossa (Nieminen 2016, Vakkuri 2011). Uusiobetonin säänkestävyys Suomen olosuhteissa ja uusiobetonissa käytettävä kiviaineksen osuus ovat tulevaisuuden tutkimuskohteita (Asp 2020).

Sovelluksista löytyy jo kuitenkin useita käytännön esimerkkejä ja yritysten ratkaisua. Esimerkiksi Ruduksen ja YIT:n pilottihankkeessa on käytetty uumabetonia (uuma: uusiomateriaali) hyvin kokemuksiin. Syyskuussa 2021 toimitettiin asiakkaalle uumabetonimassa YIT:n rakenteilla olevan asuinkerrostalon pysäköintialuetta reunustavan tukimuurin perustuksiin. Uumabetonissa 30 prosenttia karkeista luonnonkivistä korvattiin kierrätyskiviaineksella. Massan laatu oli hyvä pumppauksen ja työstettävyyden kannalta, joten uumabetoni soveltuisi kaikkeen talonrakentamiseen. Haasteena on kuitenkin saada uusi tuotekokonaisuus normaaliin tuotantoon. (rudus.fi s.a.)

Biohiili rakennusmateriaaleissa

Biohiilen sovellukset ovat pitkään rajoittuneet siihen, että sitä käytetään veden imeytymistä edistävänä maaperän lisäaineena, kipsissä imemään kosteutta ja energiavaihtoehtoina fossiilisten polttoaineiden korvaamiseen (Nithyalakshmi ym. 2022). Viime aikoina kiinnostus biohiilen mahdollisuuksista myös muissa sovelluskohteissa on lisääntynyt. Rakennusmateriaalina biohiillelle on esitetty esimerkiksi seuraavia sovellutuksia (Envirotec s.a. 2022):

- *Eristysmateriaali*: Biohiili on poikkeuksellisen tehokas aine kosteuden sidontaan johtuen sen rakenteellisista ominaisuuksista ja huokoisuudesta. Sillä on matala lämmönjohtavuus, ja se absorboi viisi kertaa oman painonsa vettä.
- *Biohiilipohjainen savi ja kalkkikipsi*: Voidaan yhdistää saven, kalkkikipsin ja sementtilaastin kanssa. Biohiiltä voidaan käyttää kipsin lisäaineena 80 prosenttiin asti, kun biohiili korvaa hiekan, jolloin kipsistä saadaan viisi kertaa kevyempää kuin tavallisesta kipsistä huokoisuudesta johtuen. Rakennuksen sisätiloissa, joissa käytetään kyseisiä materiaaleja, niiden avulla kosteustasoja voidaan pitää 45–70 prosentissa kesällä ja talvella.
- *Rakennuksen tiilet, laatat ja betoni*: Biohiiltä voidaan käyttää tiilien ja laattojen valmistuksessa. Tutkimuksen mukaan tiilissä, joissa oli 50 prosenttia biohiiltä ja 50 prosenttia polyeteeniä, oli korkein puristuslujuus.

Gupta ym. (2018) tutkivat biohiilen käyttöä sementtilaastin mekaanisen lujuuden lisäämiseen ja läpäisevyyden vähentämiseen. He havaitsivat, että tuoreen biohiilen ja hiilidioksidilla kyllästetyn biohiilen lisääminen lyhentää alkukovettumisaikaa ja parantaa merkittävästi laastin varhaista puristuslujuutta. Kokeelliset tulokset viittasivat siihen, että biohiilen lisääminen voi lisätä laastin taivutussitkeyttä, vaikka taivutuslujuuteen se ei merkittävästi vaikuttanut. Veden tunkeutuminen laastiin ja laastin sorptiokyky (absorptio, adsorptio) vähenivät merkittävästi biohiilen lisäyksen vuoksi, mikä osoittaa sellaisessa laastissa parempaa läpäisemättömyyttä, johon on lisätty biohiiltä.

Lisäksi tutkimuksessa havaittiin, että toisaalta tuoreen biohiilen lisääminen betoniin tarjosi huomattavasti suuremman mekaanisen lujuuden ja paremman läpäisevyyden verrattuna hiilidioksidilla kyllästettyyn biohiileen. Tulokset osoittivat, että potentiaalia on onnistuneesti hyödyntää biohiiltä betonirakenteissa hiiltä sitovana lisäaineena, mikä mahdollistaa myös jätteen kierrätyksen. (Gupta ym. 2018)

Rakennusliike Skanskan yhteistyökumppani, norjalainen Snøhetta tutki biohiilen käyttöä hiilineutraalin betonin valmistuksessa (Smedlass 2022). Selvitysten mukaan rakennusala tuottaa 30 prosenttia puun kokonaisjätteestä ja suuri osa rakennusjätteestä menee polttoon. Ideana oli se, että puujäte pyrolysoidaan biohiileksi ja sekoitetaan sitten betoniin. Näin muodostuvasta betonista tuli ”biocrete”-materiaalia, joka on 50 prosenttia kalliimpaa kuin perinteinen ”concrete”.

Skanskan mukaan biohiilen vaikutukset ja mahdollisuudet betonissa ovat seuraavanlaisia: biohiili on kevyttä ja mekaanisesti heikkoa, mutta se voidaan kompensoida sideaineella. Biohiili imee paljon vettä, mutta se on hyvä täyttömateriaali vedellä kyllästettynä. Biohiiltä sisältävällä betonilaastilla on hyvät työstettävyysominaisuudet. Skanska näkee paljon mahdollisuuksia biohiilen käyttöön betonissa; uusi teknologia mahdollistaisi elementti- ja paikalla valetun betonin hybridin. Sandwich-tyyppinen rakenne mahdollistaisi korkean lujuuden (laipat) ja matalan lujuuden betonin (biohiiltä sisältävät ytimet) yhdistelmän. Tällöin hiilineutraalit kuormaa kantavat rakenteet olisivat saavutettavissa. (Smedlass 2022)

Kehitystarpeita kuitenkin löytyy kyseisessä sovelluksessa, ja enemmän testejä tarvittaisiin toteutuskelpoisuuden ja luotettavuuden demonstroimiseksi. Lisäksi saatavilla tulisi olla riittävästi puusta tehtyä biohiiltä, ja betonin jalostuslaitokset olisi muunnettava käsittelemään jauhettua biohiiltä kuivassa/puolikuivassa tilassa. Asiakaskiinnostusta sovellusta kohtaan on kuitenkin ollut, ja useampia täyden mitakaavan demonstraatioita tarvittaisiin todentamaan konseptia. (Smedlass 2022)

Cuthbertsonin ym. (2019) tutkimuksessa käytettiin bioetanoliiteollisuuden kuivaustislausjyvistä valmistettua biohiiltä standardibetonin täyteaineena korvaamassa

hiekkaa tai karkeaa kiviainesta. Biohiilen lisäys johti betonin tiheyden pienene-
miseen lineaarisesti 1 454 kg:aan/m³ asti, kun siinä oli 15 painoprosenttia bio-
hiiltä. Seuraavia havaintoja saatiin kyseisestä kokeilusta: 1. Biohiili lisäsi äänen
absorbointikerrointa taajuusalueella 200–2 000 Hz. Tämä johtui betoniin muo-
dostuneista huokosverkostoista, joissa ääni dissipoitui lämmöksi. Melunvaimen-
nuskerroin NRC (noise reduction coefficient) sai arvon 0,45 (jos NRC on suurempi
kuin 0,35, on kyseessä äänieriste). 2. Lämmönjohtavuus sai selvityksessä pienim-
män arvon 0,192 W/(mK), kun biohiiltä lisättiin kaksi prosenttia. 3. Biohiilen lisää-
misellä oli haitallinen vaikutus betonin puristuslujuuteen, mikä teki siitä matalan
lujuusluokituksen betonia.

Biohiili rakennusmateriaaleissa -hankkeen aikana bio- ja kiertotalouden tutki-
muskeskus BioSamossa valmistettua biohiiltä lisättiin betoniin. Biohiilibetonis-
ta testattiin muun muassa puristuslujuus ja betonin varhaislujuuden kehittymistä
tutkittiin isothermisellä kalorimetrillä. Kahdessa eri lämpötilassa valmistettua (420
°C ja 600 °C) pajubiohiiltä lisättiin betoniin yhden painoprosentin verran semen-
tin painosta. Tulosten perusteella voidaan arvioida, että biohiilibetonin lujuus oli
samaa luokkaa referenssibetoniin nähden eikä valmistuslämpötilalla ollut suurta
merkitystä biohiilen puristuslujuuteen nähden (taulukko 1).

TAULUKKO 1. Referenssibetonin ja biohiilibetonien puristuslujuudet ja tiheydet
mitattiin 28 vuorokauden iässä. Tunnus "paju 420" tarkoittaa biohiilibetonia,
johon on lisätty 420 °C:n lämpötilassa valmistettua pajubiohiiltä, ja "paju
600" vastaavasti betonia, johon on lisätty 600 °C:n lämpötilassa valmistettua
pajubiohiiltä.

Tunnus	Ikä (d)	Puristuslujuus (MPa)	Tiheys (kg/m ³)
referenssi 1	28	33,3	2 300
referenssi 2	28	33,1	2 290
referenssi 3	28	32,8	2 300
referenssi 4	28	30,4	2 300
paju 420 1	28	30,9	2 260
paju 420 2	28	32,0	2 260
paju 420 3	28	32,4	2 290
paju 420 4	28	32,0	2 290
paju 600 1	28	33,0	2 300
paju 600 2	28	34,8	2 290
paju 600 3	28	34,3	2 290
paju 600 4	28	35,5	2 300

Biohiilen vaikutusta betonin varhaislujuuden kehitykseen tutkittiin isotermisellä kalorimetrillä. Kalorimetrillä mitataan betonin hydrataatioreaktiosta johtuvaa lämpötilan muutosta tuoreessa betonimassassa. Lämpötilan muutoksesta pystytään päättämään, kuinka nopeasti kovettumisreaktio tapahtuu. 420 °C:n lämpötilassa valmistettua pajubiohiiltä lisättiin yhden ja kahden painoprosentin verran sementin painosta laastimassaan ja hydrataatioreaktion lämpötilamuutosta mitattiin kahden vuorokauden ajalta. Kalorimetrikokeiden perusteella havaittiin, että biohiilen lisäys nosti alkuvaiheen reaktion kokonaislämmöntuottoa. Biohiili vaikuttaa kiihdyttävän betonin kovettumisen alkuvaiheen reaktiota, minkä ansiosta biohiilen käyttö betonissa voisi olla hyödyllistä kohteissa, joissa tarvitaan nopeaa alkulujuuden kehitystä.

Yhteenveto

CIRCON-hankkeen tavoitteena on rakennus- ja purkujätteen hyödyntämisen ja vähähiilisen rakennusmateriaalin kehittäminen kierrätysmateriaaleista. Biohiili rakennusmateriaaleissa -hankkeessa puolestaan tutkittiin biohiilen hyödyntämistä erilaisissa rakennusmateriaaleissa. Tässä koosteessa on esitelty kirjallisuuskatsauksen tuloksia rakentamisen kierrätysmateriaaleista sekä testituloksia biohiilen käytöstä betonissa.

Sementtiä ja kiviainesta voidaan betonissa korvata kierrätysmateriaaleilla. Kierrätysmateriaalit eri määrinä vaikuttavat tuoreen ja kovettuneen betonin ominaisuuksiin. CIRCON-hanke jatkaa työskentelyä teeman parissa tekemällä testisarjoja, millaisilla kierrätysmateriaaleilla ja millä osuuksilla betonin ainesosia voitaisiin korvata samalla kuitenkin säilyttäen vaaditut betonin laatuominaisuudet.

Biohiilen viimeisimpänä sovellutuksena sen käyttöä on alettu tutkimaan rakennusmateriaaleissa, esimerkiksi betonirakenteissa, laatoissa, seinissä ja meluntorjuntarakenteissa. Biohiilen käyttöä on tutkittu esimerkiksi standardibetonin täyteaineena korvaamassa sementtiä, karkeaa kiviainesta tai hiekkaa. Biohiiltä voidaan käyttää betonin lisäksi muissakin rakenteissa, kuten tiilissä ja kipsilevyissä. Tärkeimpiä sovellutuksia ovat eristysmateriaalit, biohiiliperusteinen savi ja kalkkikipsi sekä rakennuksen tiilet ja laatat. Biohiili rakennusmateriaaleissa -hankkeen tuloksiin voi tutustua tarkemmin hankkeen loppujulkaisussa, joka julkaistaan hankkeen päättymisen jälkeen. Tutkimus teemojen parissa jatkuu myös Xamkin tulevaisuudessa, kuten Korkeamman lisäarvon biohiili ja sen arvoketjut – Arvohiili -hankkeessa.

LÄHTEET

Asp, E. 2020. Uusiobetonin käyttö rakentamisessa. Kandidaatintyö. Rakennustekniikka, Tampereen yliopisto.

Betoni.com s.a. Saatavissa: <https://betoni.com/blog/referenssi/lendager-group-kaytti-kierratysmateriaaleja-20-huoneiston-kaupunkirivitalon-rakentamisessa-kooppenhaminassa/> [viitattu 28.9.2022]

Cuthbertson, D., Berardi, U., Briens, C. & Berruti, F. 2019. Biochar from residual biomass as a concrete filler for improved thermal and acoustic properties, *Biomass and Bioenergy* 120 (2019) 77–83.

Envirotec s.a. 2022. Is biochar suitable as a construction material?, Saatavissa: <https://envirotecmagazine.com/2022/07/04/is-biochar-suitable-as-a-construction-material/> [viitattu 1.12.2022]

Gupta, S., Kua, H. W. & Low, C. Y. 2018. Use of biochar as carbon sequestering additive in cement mortar, *Cement and Concrete Composites* 87 (2018) 110–129.

Hakaste, H. 2022. Rakentamisen kiertotalouden ajankohtaiskatsaus. Kiertotaloutta rakentamassa -seminaari Vantaalla 23.5.2022.

Koivisto, M. 2020. Betoni elinkaari, kiertotalous ja ympäristö, Aalto Arts, Arkkitehtuurin laitoks, ARK-C0006, Perusteet: Aine 1, kevät 2020.

Maier, P.L. & Durham, S. A. 2012. Beneficial use of recycled materials in concrete mixtures. *Construction and Building Materials* 29 (2012) 428–437.

MARA-asetus s.a. Valtioneuvoston asetus eräiden jätteiden hyödyntämisestä maarakentamisessa. 8431/2017.

Nieminen, A.-M. 2016. Uutta betonia vanhaa hyödyntäen. *Betoni* 4/2016. Pdf-dokumentti. Saatavissa: https://betoni.com/wp-content/uploads/2016/12/BET1604_78-83.pdf [viitattu 5.9.2022]

Nithyalakshmi, B., Soundarya, N. & Praveen, S. 2022. Characterization of Biochar Bricks to be used as a Construction Material, *Journal of Physics Conference Series* 2332 (1): 012015.

Pennanen, R. 2020. Betonista rakennettu maailma. Yle-uutiset. Www-dokumentti. Saatavissa: <https://YLE.fi/uutiset/3-11147788> [viitattu 5.9.2022]

rudus.fi s.a. Uusi innovaatio: kierrätyskiviainesta myös valmisbetoniin. Saatavissa: <https://www.rudus.fi/ajankohtaista/2021/09/14/uusi-innovaatio-kierratyskiviainesta-myos-valmisbetoniin> [viitattu 13.9.2022]

Smedlass, S. Biocrete – carbon neutral concrete, Biocrete-webinar-slides-290422.pdf, Skanska, Nordic Biochar Network - Webinar, April 29th 2022.

Vakkuri, R. Purkubetoni hyödynnetään, mutta vielä yksipuolisesti. Betoni 2/2011. Pdf-dokumentti. Saatavissa: https://betoni.com/wp-content/uploads/2015/09/BET1102_s46-51.pdf [viitattu 5.9.2022]

BIOHIILEN SYTTYMIS- JA PALO-OMINAISUUKSIEN TARKASTELU SEKÄ VAIKUTUS PUUKUITUERISTEEN PALO-OMINAISUUKSIIN JA LÄMMÖNJOHTOKYKYYN

Jaana Kokkonen & Satu Huurtomaa

Biohiilitutkimusta on tehty useiden vuosien ajan niin Suomessa kuin muissakin maissa maanparannuksen, erilaisten suodatus- sekä puhdistusratkaisujen sekä energiakäytön näkökulmista. Tutkimustuloksia on saatavilla laajasti biohiilen soveltamisesta erilaisiin käyttökohteisiin, mutta syttymisherkkyiden ja palo-ominaisuuksien osalta vähän.

Yhtenä toimenpiteenä Biohiili rakennusmateriaaleissa -hankkeessa kartoitettiin Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulun Bio- ja kiertotalouden tutkimuskeskus BioSammossa valmistettujen biohiilien paloturvallisuutta ja vaikutusta puukuitueristeen palo-ominaisuuksiin sekä lämmönjohtokykyyn. Osa tutkimuksesta toteutettiin yhteistyössä Tampereen yliopiston Muovi- ja elastomeeritekniikan ja Rakennusfysiikan tutkimusryhmän kanssa. Hanketta rahoittivat Euroopan aluekehitysrahasto (EAKR) Kymenlaakson liiton koordinoimana, EcoUp Oy sekä Suomen Luonnonmaalit Oy.

Syttymisherkkyiden ja palo-ominaisuuksien tarkastelu

Rakennustuotteiden ja rakennusosien paloluokitus ISO 13501-1 -standardi jakaa tuotteet palotekniisiin luokkiin, ja siinä on esitetty käytettävät testausmenetelmät sekä raja-arvot. Koemenetelmästandardeja on useita, muun muassa palamattomuusominaisuuksien määrittäminen ISO 1182, lämpöarvon määrittäminen ISO 1716 ja pienen liekin testi ISO 11925-2. (Saarimäki 2017)

BioSammossa bio- ja kiertotalouden tutkimuskeskuksessa on tehty syttymisherkkyiden ja palo-ominaisuuksien tarkastelua useammassa eri osassa. Biohiili rakennusmateriaaleissa -hankkeen aikana 420 °C:n ja 600 °C:n lämpötilassa

valmistetuista biohiilistä (tuore kuusi- ja pajupuu sekä teollisesti valmistettu hamp-pukuivike) on määritetty palo-ominaisuuksien lisäksi myös kemiallisia ja fysikaalisia ominaisuuksia, muun muassa alkuaineet ja haitta-aineet, tiheys, pH sekä sähkönjohtokyky. Palo-ominaisuuksien tarkastelussa oli mukana myös aiemmin eri lämpötiloissa (420–1 000 °C) valmistettuja biohiiliä, joiden raaka-aineena on käytetty tuoretta paju-, mänty- ja koivupuuta sekä referenssinäytteinä teollisesti valmistettu koivu- ja kuusibiohiili.

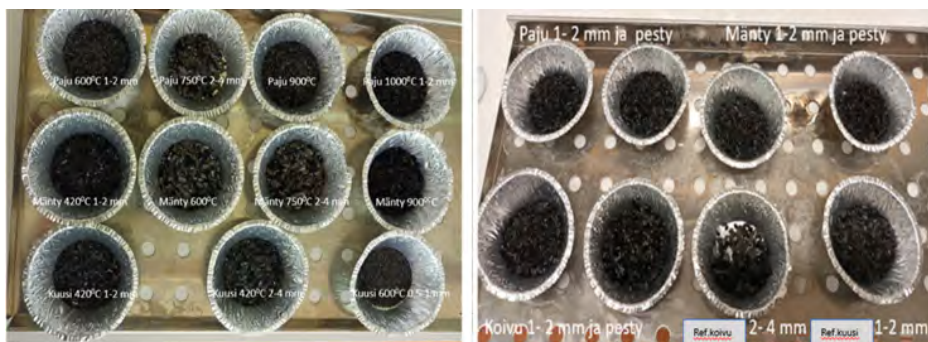
Biohiililisäyksen vaikutusta puukuitueristeen palo-ominaisuuksiin ja lämmönjohtokykyyn arvioitiin valmistamalla laboratoriomittakaavassa koelevysarjat käyttäen eri lämpötiloissa (420–1 000 °C) valmistettuja ja eri raekoon (\emptyset mm) biohiiliä. Koelevyt valmistettiin lämmönjohtokykymittauksiin (λ) lisäämällä 420 °C:n lämpötilassa valmistettua paju- ja kuusibiohiiltä sekä referenssinäytettä teollisesti valmistettu kuusibiohiili. Yhtenä referenssinäytteenä koelevyjen palotestauksessa käytettiin teollisesti valmistettua puukuitueristelevyä, joka sisältää palonestokemikaaleja ja on luokiteltu paloluokkaan E.

Biohiilen ja puukuitueristeen syttymisherkkyden ja palo-ominaisuuksien testaus BioSammossa

Syttymisherkkyden ja palonkehittymisen tarkasteluun ja testaukseen biohiilistä (20 kpl) sovellettiin standardia ISO 11925-2 ja UL 94. Molemmat standardit ovat niin sanottuja pienenliekin testejä, ja erona on, että yhdysvaltalainen standardi UL 94 määrittelee palotestin ja paloluokan vaatimukset samalla (Saarimäki 2017). Osa valmistetuista eri raekoon (\emptyset mm) kuusi- ja pajubiohiilistä käsiteltiin pesemällä ne ionivaihdetulla vedellä sekä kuivamalla lämpökaapissa 105 °C:n lämpötilassa ennen testausta.

BioSammossa bio- ja kiertotalouden tutkimuskeskuksessa saatujen testaustulosten perusteella kaikki testatut (20 kpl) biohiilinäytteet olivat palo-ominaisuuksiltaan lähes samankaltaisia. Oletuksena oli, että korkeammassa lämpötilassa (> 600 °C) valmistetut biohiilet olisivat niin sanottuja puhtaampia biohiiliä, mutta esimerkiksi haihtuvien yhdisteiden osuus oli kaikissa näytteissä erittäin vähäinen eikä leimahdamista tapahtunut testauksen aikana.

Syttymisherkkyden eroja tarkastellessa valmistuslämpötilan mukaan (420 °C vs. 600–1 000 °C) havaittiin 420 °C:n lämpötilassa valmistetuissa biohiilissä savunmuodostusta yksittäisissä kohdissa. Yksikään biohiilinäyte ei kuitenkaan syttynyt palamaan liekillisenä palona, eikä testauksen aikana tehty paloaikamittausta. Kuvassa 1 näkyy biohiilinäytteet syttymisherkkyden ja palo-ominaisuuksien testauksessa.



KUVA 1. Biohiilinäytteet syttymisherkkyiden ja palo-ominaisuuksien testauksessa (kuva Jaana Kokkonen).

Useamman sytytyskerran jälkeen kaikki testatut biohiilinäytteet saatiin hehkumaan lukuun ottamatta referenssinäytteenä käytettyä teollisesti valmistettua kuusibiohiiltä, mutta yksikään näytteistä ei syttynyt liekilliseksi paloksi eikä savunmuodostusta havaittu. Muodostuneen tuhkan määrä näytteiden pinnalle oli erittäin vähäinen, ja vain 600 °C:n lämpötilassa valmistetun kuusibiohiilinäytteen pinnalle muodostui selkeästi havaittavissa oleva tuhkerakkerros. Kuvassa 2 on nähtävissä 9 x 2 cm:n alueella ja 15 s x 2 sytyttämisaajalla tapahtuva näytteen hehkuminen ja hiiltyminen.



KUVA 2. Biohiilinäytteet sytyttämisaajalla 15 s x 2 (kuva Jaana Kokkonen).

Biohiilipuukuitueristelevyjen (70 kpl) palo-ominaisuuksien tarkasteluun ja testaukseen sovellettiin testausmenetelmiä syttyvyys pienestä liekistä ISO 11925-2 ja muovien syttyvyydestit laitteissa ja sovelluksissa olevista osista UL 94 (V, VTM ja 5V) (Saarimäki 2017).

Biohiilen palo-ominaisuuksien vaikutusten tarkasteluun puukuitueristeessä (selluvilla) laboratoriossa oli valmistettu kolme erilaista koelevysarjaa: biohiili sidottiin selluvillakuituun H₂O:n avulla, biohiili sidottiin selluvillakuituun termoplastisella polymeerikuidulla lämpökaapissa 160 °C:n lämpötilassa ilman kemikaaliliuoskäsittelyä sekä käsiteltynä pinnasta ja reunasta. Koelevyjen valmistamiseen käytetty selluvillakuitu ei sisällä lisättyjä palonestokemikaaleja, ja levyjen tavoiteteiheys (kg/m³) oli 32–42 kg/m³. Osasta koelevyistä mitattiin myös lämmönjohtokyky (λ) ja tarkasteltiin biohiililisäyksen vaikutusta puukuitueristeessä.

Saatujen koelevyjen syttymisherkkyden ja palonkehityksen tulosten perusteella voidaan arvioida, että biohiililisäys hidasti palonkehitystä, mutta ei estänyt eristelevyn palamista kyteväna palona. Biohiilen raekoolla (\varnothing mm), grammamäärällä tai raaka-aineella ei ollut merkittävää vaikutusta valmistetun eristelevyn syttymiseen tai palon etenemiseen. Poikkeuksena 420 °C:n lämpötilassa valmistettu mäntybiohiili, joka eristelevyn syttyessä muodosti kitkerää savua ja tervamaista ainetta. Biohiilen, termoplastisen polymeerikuidun ja kemikaaliliuoskäsittelyn yhteisvaikutus koelevyissä näkyi lähinnä paloa hidastavana vaikutuksena, ja eristelevyt säilyttivät hyvin mittapysyvyytensä palossa (kuva 3).

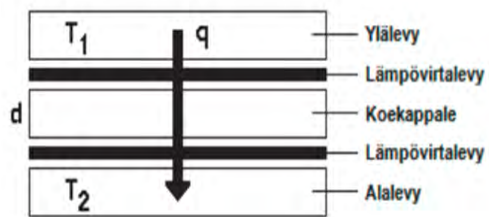


KUVA 3. Puukuitueristelevyjen palotestaus (kuva Jaana Kokkonen).

Biohiilipuukuitueristeen lämmönjohtavuuden mittaus

Lämmöneristeiden lämmönjohtavuusmittauksia ohjaa standardi EN 12667:2001, ja Heat Flow Meter -laite soveltuu eristemateriaalille, jonka lämmönjohtavuus on 0,005–0,35 W/(mK) ja mitattavan koekappaleen koko 300 x 300 x 100 mm³ (Tuurala 2022).

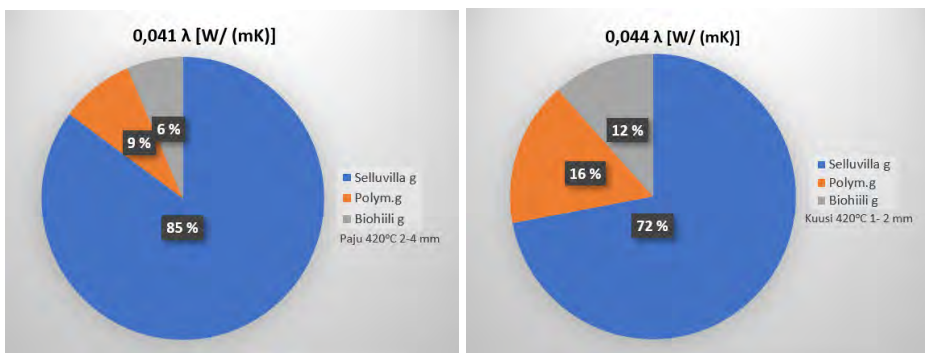
Biohiililisyksellä valmistetuista eristelevyistä mitattiin kolmena rinnakkaisena lämmönjohtavuus (λ W/(mK)) Tampereen yliopiston rakennusfysiikan tutkimusryhmän LaserComp FOX304 -lämpövirtalevyllä (kuva 4).



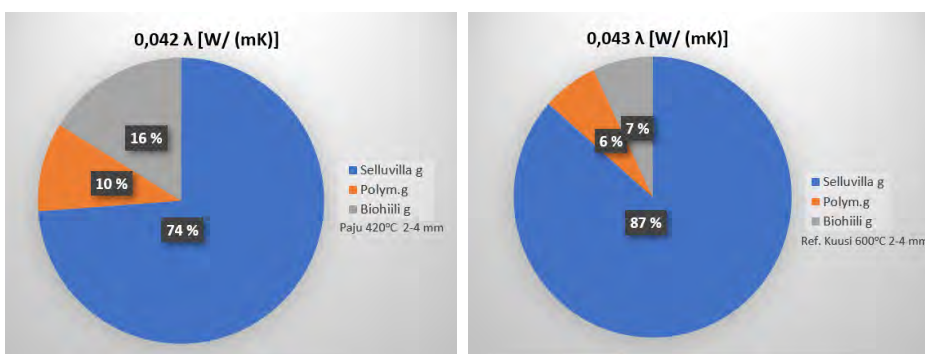
KUVA 4. FOX304-lämpövirtalevyllä (kuva Tampereen yliopisto) ja toimintaperiaate (kuva Tiina Ruuska).

Lämmönjohtokykykymittauksen tulosten tarkasteluun on käytetty referenssiarvona Suomen rakentamismääräyskokoelman C4 lämmönjohtavuuden suunnitteluarvoa puukuitueristelevylle λ_0 0,050 W/(mK) (Ympäristöministeriö s.a.).

Eristelevyjen lämmönjohtavuuden (λ W/(mK)) mittaustuloksissa on nähtävissä, etteivät biohiilen raaka-aine tai materiaalien prosenttiosuudet vaikuta merkittävästi saatuihin tuloksiin (kuvat 5–6).



KUVA 5. Lämmönjohtokyky 420 °C:n lämpötilassa valmistetuista biohiilistä, joiden raaka-aineena käytettiin pajua ja kuusta (kuva Jaana Kokkonen).



KUVA 6. Lämmönjohtokyky 420 °C:n lämpötilassa valmistetusta pajubiohiilestä ja kaupallisesta, 600 °C:n lämpötilassa valmistetusta kuusibiohiilestä (kuva Jaana Kokkonen).

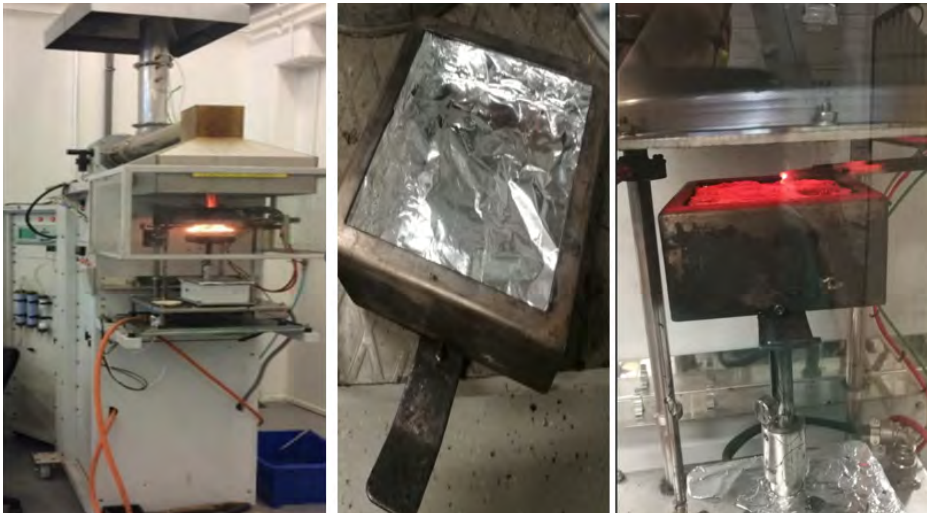
Saadut lämmönjohtavuuden (λ W/(mK)) keskiarvotulokset ovat alle referenssiarvon λ_{10} 0,050 W/(mK), ja laboratoriomittakaavassa valmistettujen koelevyjen tiheyden tai paksuuden vaihtelulla ei ollut merkittävää vaikutusta yksittäisiin mittaustuloksiin.

Biohiilen palo-ominaisuuksien tutkimus kartiokalorimetrikokeella

Eri materiaalien palo-ominaisuuksien arviointiin voidaan käyttää standardia ISO 5660-1:2015, joka ohjaa kartiokalorimettilaitteen käyttöä. Standardin mukaisessa kartiokalorimetrikokeessa käytettävä koekappale (pinta-ala 100 mm x 100 mm x paksuus 50 mm) altistetaan 10–100 kW/m² tehoiselle lämpösäteilylle, joka vaikuttaa koekappaleen koko pinta-alaan. Lämpösäteilyn vaikutuksesta kappaleesta alkaa muodostua kaasuja, jotka sytytetään palamaan erillisellä kipinäsytyttimellä näytteen yläpuolella. Näytteet palavat ilmaolosuhteissa, ja lämmönvapautumisnopeus

voidaan laskea kulutetun hapen määrästä. ISO 5660-1 -standardin mukaisessa koetilanteessa poltetaan kolme koekappaletta, joiden 180 sekunnin lämmöntuottoarvoja vertaillaan keskenään. Näiden arvojen erojen ollessa yli kymmenen prosenttia 180 sekunnin kohdalla tulee testata uusi kolmen näytteen testaussarja. (Mustonen 2012)

Biohiilien (6 kpl) kartiokalorimetrikoe toteutettiin soveltaen ISO 5660-1:2015 standardia jauhemaisille näytteille yhteistyössä Tampereen yliopiston muovi- ja elasto-meriteknikan tutkimusryhmän kartiokalorimetrilaitteella Dual Cone Calorimeter, Fire Testing Technology UK (kuva 7). Biohiilinäytteitä säilytettiin olosuhdehuoneessa (23 °C, RH 50 %) 12–14 vuorokauden ajan ennen mittausta.



KUVA 7. Kartiokalorimettilaite (kuva Meri Saarimäki), näytteenpidin ja näytteen sytytys kipinäpuikolla (kuvat Jesse Savolainen).

Kartiokalorimetrikokeessa saadut tulokset eivät ota kantaa paloluokituksiin, mutta niillä voidaan arvioida ja tarkastella jauhemaisien biohiilinäytteiden palo-ominaisuuksia. Kartiokalorimetrikokeessa saatuja tuloksia ovat muun muassa maksimilämmönvapautumisnopeus (HRR kW/m²), efektiivinen palamislämpö (EHC MJ/kg), vapautunut kokonaislämpömäärä (THR MJ/m²) ja massahäviö (MLR g/m²). Lämmönvapautusnopeus (HRR kW/m²) voidaan laskea myös maksimiarvoksi keskimääräisestä tehosta MAHRE-arvoksi, jota voidaan käyttää tulostarkasteluun esimerkiksi kiskokaluston materiaalien ja komponenttien paloturvallisuuden tuloksissa. Osa biohiilinäytteiden kartiokalorimetrikokeen mittaustuloksista on esitetty taulukossa 1.

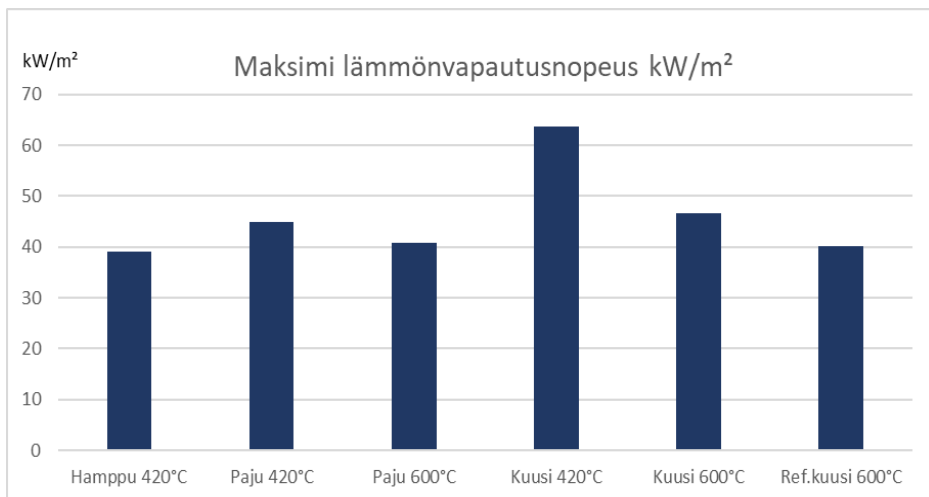
TAULUKKO 1. Kartiokalorimetrikokeen mittaustulokset.

Sample	m	Surf. area	THK	Heat flux	t	t1	HRR	THR	EHC	MAH-RE	MLR
	g	cm ²	mm	kW/m ²	s	s	kW/m ²	MJ/m ²	MJ/kg	kW/m ²	g/m ²
Hamppu 420 °C	25,00	88,40	15,00	50	600	-	29,09	17,40	1,97	29,7	7,70
Hamppu 420 °C	25,00	88,40	15,00	75	600	34	34,04	19,20	27,84	33,7	6,10
Hamppu 420 °C	25,00	88,40	15,00	75	600	24	31,62	18,20	19,01	31,9	8,50
ka.						29	31,58	18,27	16,27	31,8	7,43
Paju 600 °C	33,00	88,40	15,00	75	1800	298	34,91	52,50	27,78	34,6	14,40
Paju 600 °C	33,00	88,40	15,00	75	600	166	37,84	16,40	29,94	36,8	4,80
Paju 600 °C	33,00	88,40	15,00	75	600	172	36,08	15,40	25,90	35,8	5,30
ka.						212	36,28	28,10	27,87	35,7	8,17
Paju 420 °C	33,00	88,40	15,00	75	600	466	39,53	5,30	29,93	38,7	1,60
Paju 420 °C	33,00	88,40	15,00	75	600	465	39,73	5,30	29,05	39,6	1,60
Paju 420 °C	33,00	88,40	15,00	75	600	137	37,77	17,50	27,29	38,0	5,70
ka.						356	39,01	9,37	28,76	38,77	2,97
Kuusi 420 °C	40,00	88,40	12,00	75	600	8	47,16	27,90	19,21	48,8	12,80
Kuusi 420 °C	40,00	88,40	12,00	75	600	7	47,62	28,20	20,18	49,9	12,40
Kuusi 420 °C	40,00	88,40	12,00	75	600	9	48,11	28,40	20,91	50,3	12,00
ka.						814	47,63	28,17	20,1	49,7	12,40
Kuusi 600 °C	40,00	88,40	12,00	75	600	0	39,71	23,80	26,60	39,7	7,90
Kuusi 600 °C	40,00	88,40	12,00	75	600	179	39,47	16,60	31,52	37,7	3,70
Kuusi 600 °C	40,00	88,40	12,00	75	600	244	38,93	13,80	33,47	38,1	3,60
Kuusi 600 °C	60,00	88,40	17,00	100	600	141	42,47	19,40	29,69	41,7	5,80
ka.						141	40,15	18,40	30,32	39,30	5,25
Ref.kuusi 600 °C	40,00	88,40	12,00	75	600	383	36,43	7,9	36,43	33,2	2,10
Ref.kuusi 600 °C	40,00	88,40	12,00	75	600	401	35,98	7,10	26,73	31,5	2,40
Ref.kuusi 600 °C	40,00	88,40	12,00	75	600	349	36,63	9,10	36,82	32,4	2,20
ka.						378	36,35	8,03	33,33	32,4	2,23

Kartiokalorimetrilaitteen näytteenpidin oli mittauksen aikana 25 mm:n etäisyydellä kartiovastuksesta, ja lämpövuon arvot olivat tällöin 50 kW/m² / 754 °C, 75 kW/m² / 874 °C ja 100 kW/m² / 978 °C. Mittauksen testiaika (t) biohiilinäytteille oli 600 sekuntia lukuun ottamatta yhtä rinnakkaisnäytettä (paju 600 °C), jonka testiaika pidennettiin 1 800 sekuntiin. 420 °C:n lämpötilassa valmistetun hamppubiohiilen yksi rinnakkaisnäyte mitattiin testin alussa lämpövuon arvolla 50 kW/m². 600 °C:n lämpötilassa valmistetusta kuusibiohiilinäytteestä mitattiin ylimääräinen lisänäyte lämpövuon arvolla 100 kW/m² syttymistulosten vertailua varten. Kaikki tutkittavat

biohiilinäytteet syttyivät (osittain) palamaan heikolla sinisellä liekillä lämpövuon arvolla 75 kW/m². Syttymisen havainnointi oli haastavaa, mikä näkyy myös syttymisaikojen (t_i) hajonnassa.

Biohiilinäytteiden kohdalla lämmönvapautusnopeuden (HRR kW/m²) muutos oli erittäin pieni, ja hiilikerroksen muodostuminen oli todettavissa massahäviönä (MLR g/m²) kokeen aikana. 600 °C:n lämpötilassa valmistettua pajubiohiilinäytettä poltettiin 1 800 sekunnin ajan, eikä eroja muihin näytteisiin ollut havaittavissa mittauksen aikana. Mittauksen lopussa näytteessä oli havaittavissa 10 mm suurempi kutistuma. Kaikkien biohiilinäytteiden savunmuodostus ja savuntuotto sekä hiilimonoksidin määrä oli mittauksen aikana vähäistä. Kuvassa 8 on esitetty biohiilinäytteiden keskiarvoinen maksimilämmönvapautumisnopeus kW/m².



KUVA 8. Maksimilämmönvapautumisnopeus kW/m² (Jaana Kokkonen)

Yhteenveto

BioSammossa bio- ja kiertotalouden tutkimuskeskuksessa valmistettujen biohiilien syttymis- ja palo-ominaisuuksien testaustuloksista ja kartiokalorikokeen mittaustuloksista saatiin arvokasta tietoa eri raaka-aineiden ja eri lämpötilojen mahdollisesta vaikutuksesta biohiilen paloturvallisuuteen ja erityisesti syttymisherkkyyteen. Saatuja tuloksia tukivat myös biohiilien kemiallisten ominaisuuksien analyysitulokset, kuten ostopalveluna tehdyt alkuainemääritykset.

Palonestokemikaalien korvaaminen osittain biohiilellä ei vaikuttanut saatuihin lämmönjohtavuuden tuloksiin, mutta biohiilen vaikutus paloa hidastavana aineena oli nähtävissä puukuitueristeen syttymis- ja palo-ominaisuuksien testauksessa.

Biohiilen käyttömahdollisuuksien ja ominaisuuksien laatukriteereinä käytetään vapaaehtoisten sertifiointiohjelmien, esimerkiksi eurooppalaisen biohiilisertifikaatin (EBC 10.03.2023) ja kansainvälisen International Biochar Initiativen (IBI 2.1.2015), parametreja. EBC ohjeistaa muun muassa biohiilen ja biohiilipohjaisten tuotteiden varastointia sekä palo- ja pölysuojausmääräyksiä yleisellä tasolla paikallisten ja kansallisten määräysten mukaisesti.

Suomessa biohiilen laatuvaatimuksia lannoitteena ja lannoitevalmisteena säädetään lannoitelaililla (711/2022), joka on yhdenmukaistettu EU-lannoitevalmistasetuksen (2019/1009) kanssa, mutta varsinainen biohiilen standardointi kansainvälisesti esimerkiksi ISO/TC 238 -komiteassa on vielä kesken.

LÄHTEET

Mustonen, M. 2012. Palosuoja-aineiden ominaisuuksien vertailu. Saatavilla: <https://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-201205168444> [viitattu 14.8.2023]

Ruuska, T. 2013. Laastin ja betonin lämmönjohtavuuden ominaislämpökapasiteetin määrittäminen lämpövirtalaitteella. Saatavilla: <https://urn.fi/URN:NBN:fi:ty-201412031572> [viitattu 14.8.2023]

Saarimäki, M. 2017. Kehittyneet palonkestävät komposiittirakenteet. Saatavilla: <https://urn.fi/URN:NBN:fi:ty-201703091140> [viitattu 14.8.2023]

Tampereen yliopisto s.a. Lämpövirtalevylaitteet. Saatavilla: <https://research.tuni.fi/rakennusfysiikka/lampovirtalevylaitteet/> [viitattu 14.8.2023]

Tuurala, I. 2022. Kutterinlastueristeen rakennusfysikaaliset ominaisuudet. Saatavilla: <https://trepo.tuni.fi/bitstream/handle/10024/140947/TuuralaIikka.pdf?sequence=2&isAllowed=y> [viitattu 14.8.2023]

Ympäristöministeriö, s.a. Suomen rakentamismääräyskokoelma. Osa C4. Saatavilla: <https://ym.fi/rakentamismaaraykset> [viitattu 14.8.2023]

HYÖTYVIRTA-ALUEELLE UUTTA LIIKETOIMINTAA

Satu Huurtomaa & Päivi Menard

HUIMA – Hyötyvirran uudet innovaatiot ja mahdollisuudet aluekehittämisessä hankkeessa edistetään aktiivista yritysyhteistyötä sekä bio- ja kiertotalousalan TKI-toimintaa Kymenlaaksossa. Hankkeen aikana muun muassa kehitetään asiakastarpeen mukaisesti Hyötyvirta-liiketoimintaekosysteemiä ja potentiaalisia tuote- ja palvelukonsepteja pohjautuen Kymenlaakson materiaalivirtoihin. Hankkeen päätoteuttajana toimii Kouvola Innovation Oy (Kinno), ja Kaakkois-Suomen ammatikorkeakoulu (Xamk) on osatoteuttaja. Hanke on Euroopan unionin osarahoittama, ja rahoitus on myönnetty Kymenlaakson liiton myöntövaltuudesta. Materiaalivirtoja alueella kartoitetaan pääasiassa yhdistämällä tietoja eri tietokannoista pääasiallisen tietolähteen ollessa ympäristönsuojelun valvonnan sähköinen asiointijärjestelmä YLVA sekä Kymenlaakson kunnilta kerätty tieto.

Jätteen käsittely Suomessa

Osa jätteen keräystoiminnasta voidaan toteuttaa ilmoitusmenettelyllä, mutta osa toiminnasta vaatii ympäristöluvan. Ympäristölupa vaaditaan sellaiselta toiminnalta, jolla voi olla ympäristövaikutuksia. Ympäristöluvan voi myöntää joko kunta tai Aluehallintavirasto (AVI); kunta myöntää pienempien toimijoiden ja AVI suurempien toimijoiden ympäristöluvut. Ympäristönsuojelulaissa (527/2014) on määritelty toiminnot, joilta lupa vaaditaan, ja näitä ovat muun muassa metsä-, metalli- ja kemianteollisuuden yritykset, energiantuotannon ja kalankasvatuksen parissa toimivat yritykset sekä suuret eläinsuojat. Toiminnot jaotellaan ympäristönsuojelulaissa kahteen luokkaan: direktiivilaitoksiin ja muihin laitoksiin. Direktiivilaitosten lupamenettely on tiukempi, ja niiden lupahakemukseen sisältyy myös muun muassa maaperän ja pohjaveden perustilaselvitys. Ammattimaisessa jätteenkäsittelyssä ympäristölupa liittyy usein käsiteltävän jätteen määrään. Esimerkiksi direktiivilaitosten kohdalla ympäristölupa jätteenpolttolaitoksissa vaaditaan, kun kapasiteetti muiden kuin vaarallisten jätteiden osalta ylittää kolme tonnia tunnissa. Ympäristölupa voidaan tarvita myös toiminnassa, joka saattaa aiheuttaa vesistöjen pilaantumista tai naapurussuhdehaittaa. (Ympäristönsuojelulaki 527/2014)

Jätteen keräystoimintaa koskevasta ilmoitusmenettelystä säädetään jätelaissa. Jätelain 646/2011 100 §:ssä todetaan, että jätteen ammattimaista keräystä harjoittavan tulee tehdä ilmoitus jätehuoltorekisteriin merkitsemistä varten sen kunnan ympäristönsuojeluviranomaiselle, jonka alueella toimintaa harjoitetaan. Keräyksen määritelmään voi myös sisältyä alustavaa lajittelua tai tilapäistä varastointia (jätelaki 646/2011 6 §). Mikäli keräystoiminnan lisäksi harjoitetaan pitkäaikaista varastointia tai alustavaa lajittelua laajamittaisempaa valmistelua jätteen loppukäsittelyä tai hyödyntämistä varten, toiminta voidaan määritellä luvanvaraiseksi jätteen käsittelytoiminnaksi. Rajanveto alustavan ja muun lajittelun samoin kuin tilapäisen ja pitkäaikaisen varastoinnin välillä ei ole yksiselitteinen, vaan tulkinnat tulee tehdä tapauskohtaisesti. (Ympäristöministeriö 2013)

Alustavaan lajitteluun tulisi kuulua esimerkiksi jätteiden uudelleenkäyttökelpoisuuden tarkistaminen, uudelleenkäyttökelpoisten tuotteiden ja osien erottelu muusta jätteestä sekä jätteen esilajittelu kuljetuksen järjestämistä varten. Tilapäisen varastoinnin osalta tulisi ottaa huomioon muun muassa jätteen laatu, varastoinnin laajuus sekä varastoinnin kesto. Esimerkiksi jätteen laajamittainen, kuten kerralla varastoitavien jätteiden määrä yli 50 tonnia tai enemmän kuin kaksi–kolme konttillista, tai pitkäaikainen, kuten yli vuoden kestävä, varastointi tulisi yleensä määritellä luvanvaraiseksi. (Ympäristöministeriö 2013)

Muodostuvat jätteet tulee luokitella eri jäteluokkiin LoW-koodien mukaan (ent. EWC, European Waste Catalogue). Lyhenne LoW tulee sanoista List of Waste. LoW-koodi saadaan yleisimpien jätteiden esimerkkiluettelosta, ja koodi määräytyy jätteen syntyprosessin mukaan. Koodi on kuusinumeroinen sarja, ja jokaiselle koodille on myös sanallinen kuvaus. Koodeja käytetään muun muassa jätekirjanpidossa ja jätteiden siirtoasiakirjoissa. (Suomen Erityisjäte 2023)

LoW-koodit on jaettu yhteensä 20 ryhmään (taulukko 1). Esimerkiksi ryhmässä 17 on rakentamisessa ja purkamisessa syntyviä jätteitä, kuten purkubetoni ja puu sekä pilaantuneet maa- ja kiviainekset. Jäteluettelossa tähdellä (*) merkityt nimikkeet ovat vaarallisia jätteitä. Jokainen ryhmä on jaettu erilaisiin alaryhmiin, ja jokaiselle tulee oma kaksinumeroinen tunnuksensa; esimerkiksi ryhmään 17 01 kuuluu betoni (17 01 01), tiilet (17 01 02), laatat ja keramiikka (17 01 03) ja näiden seokset (17 01 07). Jos ryhmän 17 01 materiaalit sisältävät vaarallisia aineita, on niiden koodi 17 01 06*. Maa- ja kiviainekset kuuluvat ryhmään 17 05, ja vaarallisia aineita sisältävät maa- ja kiviainekset kulkevat koodilla 17 05 03*.

TAULUKKO 1. LoW-koodien pääryhmät (Valtioneuvoston asetus jätteistä, Liite 3).

01	Mineraalien tutkimisessa, hyödyntämisessä, louhinnassa sekä fysikaalisessa ja kemiallisessa käsittelyssä syntyvät jätteet
02	Maataloudessa, puutarhataloudessa, vesiviljelyssä, metsätaloudessa, metsästyksessä, kalastuksessa sekä elintarvikkeiden valmistuksessa ja jalostuksessa syntyvät jätteet
04	Nahka-, turkis- ja tekstiiliteollisuuden jätteet
05	Öljynjalostuksessa, maakaasun puhdistuksessa ja hiilen pyrolyytisessä käsittelyssä syntyvät jätteet
06	Epäorgaanisissa kemian prosesseissa syntyvät jätteet
07	Orgaanisissa kemian prosesseissa syntyvät jätteet
08	Pinnoitteiden (maalien, lakkojen ja lasimaisten emalien), liimojen, tiivistysmassojen sekä painovärien valmistuksessa, sekoituksessa, jakelussa ja käytössä syntyvät jätteet
09	Valokuvateollisuuden jätteet
10	Termisissä prosesseissa syntyvät jätteet
11	Metallien ja muiden materiaalien kemiallisessa pintakäsittelyssä ja pinnoittamisessa sekä ei-rautametallien hydrometallurgiassa syntyvät jätteet
12	Metallien ja muovien muovauksessa sekä fysikaalisessa ja mekaanisessa pintakäsittelyssä syntyvät jätteet
13	Öljyjätteet ja polttonestejätteet (lukuun ottamatta ruokaöljyjä ja nimikeryhmiin 05, 12 ja 19 kuuluvia öljyjätteitä ja polttonestejätteitä)
14	Orgaanisten liuottimien, jäähdytysaineiden ja ponnekaasujen jätteet (lukuun ottamatta nimikeryhmiä 07 ja 08)
15	Pakkausjätteet, absorboimisaineet, puhdistusliinat, suodatinmateriaalit ja suojavaatteet, joita ei ole mainittu muualla
16	Jätteet, joita ei ole mainittu muualla luettelossa
17	Rakentamisessa ja purkamisessa syntyvät jätteet (pilaantuneilta alueilta kaivetut maa-ainekset mukaan luettuna)
18	Ihmisten ja eläinten terveyden hoidossa tai siihen liittyvässä tutkimustoiminnassa syntyvät jätteet (lukuun ottamatta keittiö- ja ravintolajätteitä, jotka eivät ole syntyneet välittömässä hoitotoiminnassa)
19	Jätehuoltolaitoksissa, erillisissä jätevedenpuhdistamoissa sekä ihmisten käyttöön tai teollisuuskäyttöön tarkoitetun veden valmistuksessa syntyvät jätteet
20	Yhdyskuntajätteet (asumisessa syntyvät jätteet ja niihin rinnastettavat kaupan, teollisuuden ja muiden laitosten jätteet), erilliskerätyt jakeet mukaan luettuina

Jätteen hyödyntämis- ja käsittelykoodit kertovat, kuinka jäte käsitellään ja mahdollisesti hyödynnetään. Koodista selviää, onko jäte esimerkiksi hyödynnetty polttamalla (R1), sijoitettu pysyvän ja tavanomaisen jätteen kaatopaikalle (D1) tai poltettu maalla (D10). Luokkaan D10 lukeutuu poltto vaarallisen jätteen polttolaitoksissa,

mutta myös sellaisen jätteen poltto, joka ei täytä energiatehokkuusvaatimuksia, eli tämä eroaa hyödyntämiskoodista R1. Lista eri hyödyntämis- ja käsittelykoodeista on esitetty taulukoissa 2–3.

TAULUKKO 2. Hyödyntämiskoodit. (Valtioneuvoston asetus jätteistä, Liite 1)

R1	Käyttö pääasiassa polttoaineena tai muutoin energian tuottamiseksi
R2	Liuottimien talteenotto tai uudistaminen
R3	Sellaisten orgaanisten aineiden kierrätys tai talteenotto, joita ei käytetä liuottimina, mukaan lukien kompostointi ja muut biologiset muuntamismenetelmät
R4	Metallien ja metalliyhdisteiden kierrätys tai talteenotto
R5	Muiden epäorgaanisten aineiden kierrätys tai talteenotto
R6	Happojen tai emästen uudistaminen
R7	Päästöjen torjuntaan käytettyjen aineiden hyödyntäminen
R8	Katalyyttien ainesosien hyödyntäminen
R9	Öljyn uudelleenjalostaminen tai muu uudelleenkäyttö
R10	Maaperän käsitteleminen siten, että siitä on hyötyä maataloudelle tai että sillä on ekologisesti hyödyllinen vaikutus
R11	Toimissa R 1–R 10 syntyneiden jätteiden käyttö
R12	Jätteiden vaihtaminen jonkin toimista R 1–R 11 soveltamiseksi jätteeseen
R13	Jätteen varastointi ennen sen toimittamista johonkin toimista R 1–R 12, lukuun ottamatta väliaikaista varastointia jätteen syntypaikalla ennen poiskuljetusta

TAULUKKO 3. Loppukäsittelykoodit (Valtioneuvoston asetus jätteistä, Liite 2)

D1	Sijoittaminen maahan tai maan päälle, kuten kaatopaikalle
D2	Maaperäkäsittely, kuten nestemäisen tai lietemäisen jätteen biologinen hajottaminen maaperässä
D3	Syväänjektointi, kuten pumpattavien jätteiden injektointi kaivoihin, suolakupuihin tai luontaisesti esiintyviin muodostumiin
D4	Allastaminen, kuten nestemäisen tai lietemäisen jätteen sijoittaminen kaivantoihin, lammikoihin tai patoaltaisiin
D5	Erityisesti suunniteltu kaatopaikka, kuten sijoittaminen vuorattuihin erillisiin osastoihin, jotka on katettu ja eristetty toisistaan ja ympäristöstä
D6	Päästäminen vesistöön, lukuun ottamatta meriä
D7	Päästäminen mereen, mukaan lukien sijoittaminen merenpohjaan
D8	Biologinen käsittely, jota ei mainita muualla tässä liitteessä ja jossa syntyy yhdisteitä tai seoksia, jotka loppukäsitellään jollakin toimista D 1–D 12
D9	Fysikaalis-kemiallinen käsittely, jota ei mainita muualla tässä liitteessä ja jossa syntyy yhdisteitä tai seoksia, jotka loppukäsitellään jollakin toimista D 1–D 12, kuten haihduttamalla, kuivaamalla tai pasuttamalla
D10	Polttaminen maalla
D11	Polttaminen merellä (kiellettyä Suomen ja Euroopan unionin lainsäädännössä sekä kansainvälisissä yleissopimuksissa)
D12	Pysyvä varastointi, kuten säiliöiden sijoittaminen kaivokseen
D13	Yhdistäminen tai sekoittaminen ennen toimittamista johonkin toimista D 1–D 12
D14	Uudelleen pakkaaminen ennen toimittamista johonkin toimista D 1–D 13
D15	Varastointi ennen toimittamista johonkin toimista D 1–D 14, lukuun ottamatta väliaikaista varastointia jätteen syntypaikalla ennen poiskuljetusta

Materiaalivirtojen tarkastelu edistää uusien innovaatioiden syntymistä

Materiaalivirtakartoituksen tavoitteena on muun muassa arvioida Kymenlaaksossa syntyvien jättejakeiden määriä. Kartoituksen pohjalta pyritään löytämään potentiaalisille jakeille hyötykäyttömahdollisuuksia ja käsittelijöitä. Parhaassa tapauksessa materiaalivirtakartoituksen pohjalta löydetään uusia hyödyntämismahdollisuuksia jättejakeille, jotka ennen päätyivät polttoon tai sijoitettiin pysyvästi kaatopaikalle. Yhdessä kartoituksen ja yrityskeskustelujen perusteella voidaan myös löytää korkeampia jalostusasteita eri jakeille.

Materiaalivirtakartoitusta varten tilattiin tiedot Kymenlaaksossa sijaitsevien yritysten toiminnassa muodostuvasta jätteestä sekä yritysten vastaanottamasta

jätteestä Suomen ympäristökeskukselta (SYKE). Jättemääriä tarkastellaan muun muassa kunnittain, jäteluokittain ja jätteenkäsittelymenetelmittäin. Tarkastelemalla tietoja myös jätteenkäsittelymenetelmittäin saadaan tietoa siitä, millainen jäte ei tällä hetkellä mene hyötykäyttöön. Samalla myös nähdään se, mitkä jakeet on jo väylätty eteenpäin.

Materiaalivirtakartoituksessa tarkastellaan esimerkiksi jakeita, joita ohjautuu paljon kaatopaikalle tai polttoon, ja näiden hyötykäyttömahdollisuuksia selvitetään. Myös ulkomaille meneviä jätteitä tarkastellaan materiaalivirtakartoituksessa ja niille pyritään selvittämään hyötykäyttömahdollisuuksia kotimaasta. Tulevaisuuden kannalta on tärkeää, että jätteet pystytään hyödyntämään paikallisesti eikä materiaalivirta etenkään ulkomaille tapahtuisi. Myös kuljetusten päästöjen näkökulmasta olisi toivottavaa, että kuljetusmatkat olisivat mahdollisimman lyhyitä.

Hankkeessa hyödynnetään myös paikkatietoa. Kun potentiaaliset jätejakeet on tunnistettu joko materiaalivirtakartoituksen tai yritysten kanssa käytävien keskustelujen perusteella, on oleellista tietää, missä kyseistä jätettä muodostuu ja kuinka paljon. Kun halutaan tarkastella jotakin tiettyä jätejakeeta ja selvittää, missä sen tuottajat sijaitsevat, viedään tiedot muodostuvan jätteen sijainnista ja määrästä paikkatieto-ohjelmaan. Ohjelman avulla pystytään helposti tarkastelemaan, milaista jätettä muodostuu vuositason tasolla missäkin pain Kymenlaaksoa ja miten paljon. Tämän avulla mahdollisten eri toimijoiden välisten ja jopa teollisten symbioosien muodostuminen helpottuu.

Eri vuosien välillä saattaa olla suuriakin eroja jätejakeiden muodostumisessa. Hankkeen aikana tarkastellaan kolmea viimeisintä vuotta: 2020, 2021 ja 2022. Tarkastelemalla useampaa vuotta saadaan karkea kuva siitä, onko jakeiden muodostuminen säännöllistä vai satunnaista. Mikäli jotain tiettyä jakeeta muodostuu suuri määrä tietyssä vuotena, mutta muina ei ollenkaan, jakeen hyödyntäminen voi olla haasteellista etenkin tilanteessa, jossa jakeen tuottaminen on yhden toimijan varassa. Paikkatiedon hyödyntäminen voi auttaa tämänkaltaisessa tilanteessa: paikkatieto-ohjelmassa tehtävien karttojen avulla on helppo hahmottaa, löytyisikö lähialueelta muita yrityksiä, joiden toiminnassa muodostuu samaa jakeeta korvaamaan jonkun tietyn toimijan epäsäännöllistä virtaa. Mikäli näyttää siltä, että useat tarpeeksi lähellä toisiaan olevat eri yritykset muodostavat riittävästi tiettyä jakeeta, voi tässä olla raaka-ainetta jonkun toisen yrityksen tarpeisiin.

Materiaalivirtakartoituksen haasteet ja rajoitukset

Materiaalivirtakartoitus mahdollistaa paljon ja auttaa kuvaamaan jätteiden käsittelyn nykytilannetta sekä auttaa muodostamaan kuvan alueella syntyvien jätteiden määrästä. Materiaalivirtakartoituksen aikana on kohdattu kuitenkin myös haasteita. Tieto muodostuvista jätteistä sijaitsee eri tietokannoissa, ja osaa tiedosta ei ole edes tilastoitu. Läheskään kaikki toimijat eivät vielä raportoi tietojaan YLVA-järjestelmään. Tulevaisuudessa on pyrkimyksenä, että mahdollisimman moni toimija raportoi tiedot suoraan YLVA-järjestelmään, mutta tällä hetkellä esimerkiksi kuntien luvittamilla toimijoilla ei ole velvoitetta raportoida kyseiseen järjestelmään. Osa tiedoista joudutaan siis keräämään kunnilta. YLVA:n ja kuntien lupien ulkopuolelle jää myös toimijoita. Maakunnan tasolla näillä pienemmillä toimijoilla tuskin on suurta merkitystä muodostuvien jätteiden määrään, mutta paikallisesti tällä tiedolla voisi olla merkitystä.

Kartoittamalla YLVA:n ja kuntien luvittamien laitosten tiedot katetaan mitä todennäköisimmin suuri osa Kymenlaaksossa muodostuvasta jätteen määrästä ja käsittelytavoista. YLVA:n tietojen ja kuntien luvittamien laitosten vertailukelpoisuus on kuitenkin vielä kysymysmerkki. Kuntien luvittamat laitokset raportoivat tiedot hyvin eri tavoin, ja esimerkiksi kaikki metallit saatetaan luokitella samaan kategoriaan, eikä rautaa, alumiinia, terästä ja muita metalleja välttämättä erotella eri jättekooditehtäin. Yksityiskohtaista tietoa kaikkien jätejakeiden kohdalla ei siis saada koko Kymenlaakson alueelta. Toki suurimmat jätemäärät näkyvät mitä ilmeisimmin YLVA:n tiedoissa, mutta joillain jätejakeilla tietyissä kunnissa kuntien luvittamien laitosten jätejakeiden osuus saattaa olla merkittävä.

Yksi materiaalivirtakartoituksen haasteita liittyy itse YLVA-järjestelmään. Kyseistä järjestelmää ei ole suunniteltu tilastoinnin tietotarpeita huomioiden, vaan ympäristöluvan varaisten laitosten toiminnan valvontaan. Tämän takia jätetaseiden tarkastelu jollakin tietyllä alueella YLVA:n tietojen perusteella on suhteellisen haasteellista. Kaikki YLVA-järjestelmään raportoivat laitokset eivät välttämättä ilmoita jätetietojaan kaikkiin jätevirtoihin eli toimijan vastaanottamaan jätteeseen (tuleva jätevirta), toiminnassa muodostuvaan jätteeseen (lähtevä jätevirta) ja varastoon. Raportointiin vaikuttaa muun muassa se, minkä tyyppisestä toiminnasta on kyse ja mitä ympäristöluvassa on määrätty raportoinnista. Tilannetta hankaloittaa myös se, että jätteenkäsittelyssä jäte on saattanut muuntua niin, että lähtevässä jätevirrassa jäte on raportoitu toisella LoW-koodilla, jolloin sama jäte voi kulkea eri nimikkeellä tulevassa ja lähtevässä jätevirrassa.

LÄHTEET

Jätelaki 17.6.2011/646.

Suomen Erityisjäte. 2023. LoW-ohjeistus. Saatavissa: <https://www.erityisjate.fi/client/erityisjate/userfiles/low-ohjeistus637715352.pdf> [viitattu 20.9.2023]

Valtioneuvoston asetus jätteistä 18.11.2021/978, Liite 1–5.

Ympäristöministeriö. 2013. Ympäristönsuojeluosasto. Muistio 5.4.2013. Jätteen keräystoiminnan merkitseminen jätehuoltorekisteriin. Saatavissa: https://ym.fi/documents/1410903/38439968/Jatteen-keraystoiminnan-merkitseminen-jatehuoltorekisteriin.-Muistio-5.4.2013-226429F4_0E8E_423C_8A60_C9FC4C5EC973-32818.pdf/5434fc0e-0ce9-4736-5edb-5c435f866cfa/Jatteen-keraystoiminnan-merkitseminen-jatehuoltorekisteriin.-Muistio-5.4.2013-226429F4_0E8E_423C_8A60_C9FC4C5EC973-32818.pdf?t=1603260903567 [viitattu 20.9.2023]

Ympäristönsuojelulaki 27.6.2014/527.

VIHREÄN VEDYN TUOTANTOLAITOSTEN HUKKALÄMMÖN HYÖDYNTÄMISMAHDOLLISUUDET KAAKKOIS-SUOMESSA

Paulus Kiviranta & Sirpa Rahiala & Mika Keski-Luopa

Vetyä, virtaa Kaakkoon – Hukkalämmön hyödyntämispotentiaali -hankkeen tavoitteena on selvittää vedyntuotannossa syntyvän hukkalämmön hyödyntämispotentiaali tekniseltä ja taloudelliselta näkökannalta Etelä-Karjalan ja Kymenlaakson maakunnissa.

Hanke toteutetaan yhteistyössä LUT-yliopiston, LAB-ammattikorkeakoulun ja Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulun (Xamk) Metsä, ympäristö ja energia vahvuusalan kanssa. Hankkeen päärahoituslähteenä toimii REACT-EU:n EAKR-toimenpiteet, Etelä-Karjalan ja Kymenlaakson liitot (Uudenmaan liitto).

Vetytalouden edistäminen kansallisella ja EU-tasolla

Valtion periaatepäätöksen mukaan Suomi tavoittelee Euroopan johtavaa asemaa vetytaloudessa läpi koko arvoketjun. EU-tasolla tavoitteena on tuottaa kymmenen miljoonaa tonnia uusiutuvaa vetyä vuonna 2030, ja tästä kokonaisuudesta Suomi voisi tuottaa vähintään kymmenen prosenttia (Työ- ja elinkeinoministeriö 2023), (Euroopan komissio 2023). Suomessa on tällä hetkellä suunnitteilla useita vetylaitosten investointeja, kuten Kotkaan sijoittuva Ren-gasin laitos ja St1:n laitos Lappeenrantaan (Elinkeinoelämän keskusliitto 2023).

EU suunnittelee myös toimenpidekokonaisuutta ”EU Hydrogen Bank”, jolla EU:n vetyinvestointeja voitaisiin tukea. Tähän kokonaisuuteen voisi kuulua muun muassa uusiutuvan vedyn tuotannon pilottihuutokauppoja ja koordinoitua EU:n strategiaa uusiutuvan vedyn tuontia varten. Tavoitteena on esimerkiksi pienentää uusiutuvan ja fossiilisen vedyn välistä kustannuseroa EU:ssa ja alentaa pääomakustannuksia. Tätä voisi edistää vedyntuottajille suunnattu kiinteä palkkio

tuotettua vetykiloa kohden enintään kymmeneksi käyttövuodeksi. (Euroopan komissio 2023.)

Suomen vahvuudeksi vetytaloudessa on nähty muun muassa edullinen uusiutuva energia, vakaa sähköverkko, vahva teollinen ja energia-alan osaaminen, biopohjaiset hiilidioksidilähteet sekä kaukolämpöverkot, joissa vedyn tuotannon hukkalämpö voidaan hyödyntää (Työ- ja elinkeinoministeriö 2023). Kansallisen vetyklusterin toimeksiannosta tehdyssä tuoreessa selvityksessä todetaan myös, että suurimmat tarpeet laajentaa tutkimusta liittyvät esimerkiksi energijärjestelmän ja vetyjärjestelmän rajapintaan ja niiden vuorovaikutukseen (FinH2 2023).

Vetyä, virtaa Kaakkoon – hukkalämmön hyödyntämispotentiaali -hankkeessa päätavoitteena on vedyn tuotantoon liittyvän hukkalämmön potentiaalin ja hyödyntämisen selvitys tekniseltä ja taloudelliselta näkökannalta Kymenlaaksossa ja Etelä-Karjalassa. Vedyn tuotannon hukkalämmön hyödyntäminen parantaa vetylaitosten kannattavuutta ja tuo uusia kestäviä energiavirtoja hyödynnettäväksi alueen kaukolämpöverkkoihin tai muihin kokonaisuuksiin.

Hukkalämmön hyödyntämispotentiaali -hanke on osa isompaa hankekokonaisuutta, johon kuuluvat edellä mainitun hankkeen lisäksi Lappeenrannan kaupungin vetämä Vetyä, virtaa Kaakkoon -hanke sekä LUT-yliopiston vetämä Vetyä, virtaa Kaakkoon – mallinnuksesta markkinoihin -hanke. Hanketoteuttajia on hankkeissa laajasti sekä alueen kehitysyhtiöiden (Kinno, Cursor Oy, Imatran seudun Kehitysyhtiö), kaupunkien (Lappeenranta ja Imatra) että korkeakoulujen osalta (LUT-yliopisto, Xamk, LAB-ammattikorkeakoulu). Hankkeiden tavoitteena on edistää vetytaloutteen pohjautuvien uusien ratkaisujen ja tuotteiden syntymisen edellytyksiä sekä vahvistaa niihin pohjautuvan liiketoiminnan kehittymistä yhteistyössä eri toimijoiden kanssa.

Tavoitteita tukemaan on myös perustettu vuoden 2023 alkupuolella Suomen Vetylaakso ry. Yhdistys pyrkii hankkimaan, tuottamaan ja jakamaan tietoa julkiselle hallinnolle, energia-alan yritysille, vetytalouteen liittyville teknologia- ja palvelualan yritysille, hankekehittäjille, tiedotusvälineille ja muille uusiutuvan energia-alan sidosryhmille. Yhdistykseen on heti sen perustamisvaiheessa liittynyt 30 jäsentä, joista on 17 yrityksiä. (Suomen Vetylaakso ry. 2023)

Hukkalämmön eri skenaariot

Elektrolyysereissä on kolme periaatteellista tapaa: alkalinen elektrolyysi, polymeerielektrolyysi (Proton Exchange Membrane, PEM) sekä korkean lämpötilan elektrolyysi/vesihöyryelektrolyysi. Elektrolyyserin käyttölämpötila riippuu sen tyypistä:

alkalisessa ja PEM-elektrolyserissä lämpötila on noin 60–95 °C ja vesihöyryelektrolyserissä taas huomattavasti korkeampi, 700–1 000 °C.

Elektrolyysiprosessin tyypillinen hyötysuhde on noin 60–70 prosenttia eli kolmannes elektrolyysiin käytetystä sähköenergiasta muuttuu lämmöksi. Hyödyksi saatava hukkalämpö on tätä hieman pienempi, noin 12–20 prosenttia. Hukkalämpöä saadaan talteen, kun prosessia jäähdytetään käyttölämpötilan pitämiseksi suunnitteluarvojen sisällä ja elektrolyysipiiristä erotettu jäähdytysvesipiiri poistaa prosessista jatkuvasti lämpöä. Lämmöntalteenottolaitteiston vaatimukset määräytyvät elektrolyserin jäähdytyslämpötilavaatimuksista sekä kaukolämpöverkon puolelta tulevista vaatimuksista, kuten virtausmäärän ja lämpötilatason osalta. Tarvittaessa hukkalämmön lämpötilatasoa voidaan nostaa lämpöpumpun avulla ennen sen syöttämistä kaukolämpöverkkoon.

Esimerkiksi Ruotsissa ja Isossa-Britanniassa on selvitetty aiemmin hukkalämmön syntymistä vedyn tuotannon sivutuotteena ja sen merkitystä alueellisesti. Näissä selvityksissä ilmeni esimerkiksi, että 100 MW:n PEM-elektrolyserilaitoksesta lämpöä saataisiin 203 060 MWh vuodessa ja vastaavasti alkalielektrolyserilaitoksesta 310 630 MWh (Jonsson & Miljanovic 2022). Isossa-Britanniassa arvioitiin, että vuoteen 2050 mennessä vedyn tuotannon hukkalämpö voisi kattaa 13–131 prosenttia kotitalouksien lämmitystarpeesta ja 6–27 prosenttia Ison-Britannian kokonaislämmitystarpeesta (Ramboll 2021).

Itä-Kaakon vetyselvityksessä havaittiin alustavasti, että Lappeenrannassa 25–72 prosenttia ja Kotkassa 33–78 prosenttia kaukolämmöstä voitaisiin kattaa vedyn tuotannon hukkalämmöllä (LUT-yliopisto 2023). Lisäksi esimerkiksi viime aikoina Porvoossa on alettu selvittämään mahdollisuuksia hyödyntää Kilpilahden alueelle suunnitellun vetylaitoksen yhdistämistä Porvoon Energian kaukolämpöverkkoon noin viisi kilometriä pitkällä osittain meren alla kulkevalla putkistolla. Ratkaisu tuottaisi noin 30 MW lämpöä Porvoon Energian kaukolämpöverkkoon. (Porvoon Energia 2023)

Syntyvää lämpöä voidaan hyödyntää muuallakin kuin kaukolämmön tuotannossa, ja tämä onkin noussut kiinnostuksen kohteeksi viime aikoina. Kuten aiemmin on kuvattu, elektrolyysistä tulevan hukkalämmön lämpötila riippuu käytetystä elektrolyysiteknologiasta, ja se on tyypillisesti noin 60–80 °C. Tällaisen lämpötilatason käyttökohteita voisivat olla esimerkiksi erilaiset kuivaus-, lämmitys- ja jäähdytysprosessit. Power-to-X-ratkaisuissa hukkalämpöä voitaisiin mahdollisesti hyödyntää myös hiilidioksidin talteenottoprosessissa. Elintarviketeollisuuden tarvitsema lämpö voisi olla eräs hyödyntämismahdollisuus. Esimerkiksi meijeriteollisuudessa maidon terminisointi tapahtuu 63–65 °C:n lämpötilassa 15 sekunnissa ja pastörointi 72–75 °C:n lämpötilassa 15–20 sekunnissa (Carmen. Tadini. Gut. 2022).

Hukkalämmön alueellista potentiaalia voidaan tarkastella eri lähtökohdista, joten hankkeen aluksi muodostettiin kolme skenaariota, joiden perusteella kokonais-tarkastelua tehdään. Näiden eri skenaarioiden perusteella lasketaan alueen hukkalämmön potentiaali.

1. Tiedossa olevat elektrolyysin sisältämät laitossuunnitelmat alueella.
2. Alueen kaukolämmön tarve: kuinka paljon vedyn tuotantolaitoksia tarvitaan kattamaan kaukolämmön tarve ja millaista nykyistä kaukolämmön tuotantoa voitaisiin korvata.
3. Alueella syntyvän hiilidioksidipäästöjen perusteella: kuinka paljon vedyn tuotantoa tarvitaan, jos vety jatkojalostetaan alueella syntyvien hiilidioksidipäästöjen määrän mukaisesti synteettisiksi polttoaineiksi.

Kaakkois-Suomessa alueen hiilidioksidipäästöt vahvuutena

Suomen kansantalouden kannalta on tärkeää, että vety jatkojalostettaisiin korkeamman arvon tuotteiksi, kuten metaaniksi tai metanoliksi. Jatkojalostukseen tarvitaan toiseksi lähtöaineeksi myös hiilidioksidia. Kaakkois-Suomen alueella on hiilidioksidilähteiden keskittymä alueen vahvan metsäteollisuustaan vuoksi. Alueella vietettiin metsäteollisuuden 150-vuotisjuhlavuotta vuonna 2022. Tämä tarkoittaa myös poikkeuksellisen vahvaa sähköverkkoa alueella, joka on myös keskeinen edellytys Vetylaakson muodostumiselle. Suurten muutosten vuoksi sähköverkko mahdollisesti vaatisi vielä tietyille alueille vahvistuksia.

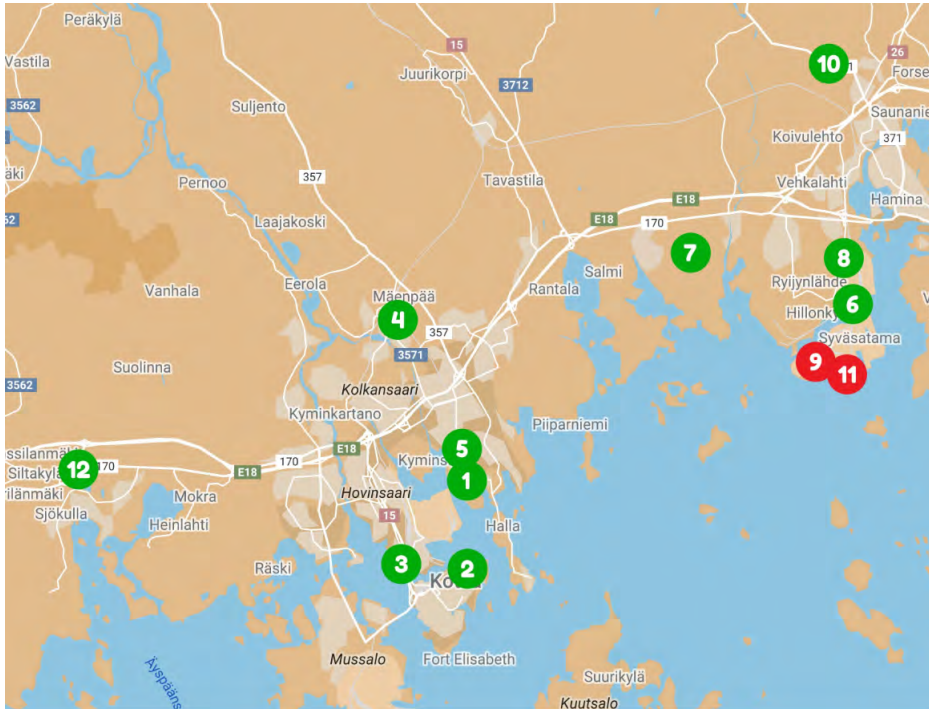
LUT-yliopiston vuonna 2022 tekemässä selvityksessä kartoitettiin alueen yli sadan kilotonnin päästölähteet. Nyt Vetyä, virtaa Kaakkoon -hankkeessa on kartoitettu myös pienemmät CO₂-päästölähteet sekä Kymenlaakson että Etelä-Karjalan alueelta. Noin puolet Suomen biogeenisen hiilidioksidin volyyminä syntyy Kymenlaakson ja Etelä-Karjalan maakunnissa. (LUT-yliopisto 2023)

Seuraavassa taulukossa 1 on esitetty Kotkan ja Haminan alueiden hiilidioksidin päästölähteet tuotantolaitoksittain. Tiedot on kerätty avoimista lähteistä, ja ne ovat peräisin pääsääntöisesti vuodelta 2021 tai vastaavat laitoksen tyypillistä energiankäyttöä. Huomiona Stora Enson Sunilan sellutehdas, joka viimeisimmän tiedon mukaan suljetaan vuoden 2023 loppupuolella (Stora Enso 2023).

TAULUKKO 1. Kotkan ja Haminan alueen hiilidioksidin päästölähteet tuotantolaitoksittain (EEA 2022, Jaakkola & Pulkkinen 2021, Energiateollisuus 2022, Aluehallintovirasto 2017, 2020, 2023, Energiavirasto 2021).

Tehdas	Toimiala	Bio CO ₂ [kt]	Fos CO ₂ [kt]	Yhteensä CO ₂ [kt]	Tunniste kartalla
Stora Enso Oyj, Sunilan tehdas	Sellu- ja paperiteollisuus	711,4	47,6	759,0	1
Kotkamills Oy, Kotkan tehtaas	Sellu- ja paperiteollisuus	251,0	240,0	491,0	2
Kotkan Energia Oy, Hovinsaaren voimalaitos	Energiantuotanto	141,1	54,9	196,0	3
Kotkan Energia Oy, Hyötyvoimalaitos	Energiantuotanto	97,0	0,0	97,0	4
Kotkan Energia Oy, Karhulan biolämpökampus	Energiantuotanto	37,1	0,0	37,1	5
Södra Wood Oy, Haminan saha	Puun sahaus ja käsittely	22,6	0,0	22,6	6
MCM Timber Oy, Haminan sahalaitos	Puun sahaus ja käsittely	17,8	0,0	17,8	7
Haminan Energia Oy, Haminan kaukolämpölaitos	Energiantuotanto	13,7	0,0	13,7	8
STR Tecoil Oy, Haminan regenerointilaitos	Jalostettujen öljytuotteiden valmistus	0,0	11,1	11,1	9
Basf Oy, Haminan tehdas	Kemianteollisuus	0,0	10,9	10,9	9
Fintoil Hamina Oy, Haminan jalostamo	Bioöljyn valmistus	0,0	10,0	10,0	9
Adven Oy, Haminan lämpölaitos	Energiantuotanto	0,0	4,1	4,1	9
Pousin Puutarha Oy, Tikkamäen hakelämpölaitos	Energiantuotanto	3,2	0,0	3,2	10
Prefere Resins Finland Oy, Haminan formaliinilaitos	Kemianteollisuus	0,0	2,2	2,2	11
Nevel Oy, Pyhtään aluelämpölaitos	Energiantuotanto	1,7	0,0	1,7	12
Yhteensä		1 296,6	380,7	1 677,2	

Vuotuiset hiilidioksidipäästöjen kokonaismäärät Kotkan ja Haminan alueella ovat lähes 1 700 kilotonnia, josta biogeenisen hiilidioksidin osuus on noin 1 300 kilotonnia. Kun huomioidaan Sunilan sellutehtaan mahdollinen sulkeminen, biogeenistä hiilidioksidia syntyy alueella noin 600 kilotonnia vuositasona. Taulukkoa 1 vastaavat tuotantolaitokset on esitetty seuraavassa kuvassa 1.



KUVA 1. Taulukon 1 kohteet esitettynä kartalla (kuva Paulus Kiviranta).

Kotkan ja Haminan alueen hiilidioksidipäästöt aiheutuvat sellu- ja paperiteollisuuden laitoksista (Sunila, Kotkamills) sekä kaupunkien energiantuotanto- ja teollisuuslaitoksista. Kotkan alueella on kaksi yhdistettyä sähkön ja lämmön yhteistuotantolaitosta (Hovinsaaren voimalaitos, Hyötyvoimalaitos). Haminan alueella puolestaan hiilipäästöjä syntyy sahalaistosten sekä sataman alueella sijaitsevien teollisuuslaitosten toiminnasta.

Seuraavassa taulukossa 2 on esitetty, kuinka paljon synteettistä metaania ja metanolia olisi valmistettavissa, jos Kotkan ja Haminan alueiden biogeenisistä hiilidioksidipäästöistä hyödynnettäisiin noin 50 prosenttia (300 kt) jatkojalostamista varten. Taulukossa on myös esitetty polttoaineiden valmistukseen tarvittava vedyn määrä, vedyntuotantolaitosten sähköenergian tarve, sähkön tarvetta vastaava tuulivoimakapasiteetti 30 prosentin kapasiteettikertoimella sekä prosessissa syntyvän hukkalämmön määrä.

TAULUKKO 2. Kotkan ja Haminan alueiden biogeenisistä hiilidioksidipäästöistä (50 %) valmistettavissa olevat synteettisten polttoaineiden (metaani, metanoli) määrät.

Metaanin valmistus		Metanolin valmistus	
CO ₂ :n hyödyntäminen [kt]	300	CO ₂ :n hyödyntäminen [kt]	300
Vedyn tarve [kt]	53,2	Vedyn tarve [kt]	40,0
Metaanin tuotanto [kt]	110,0	Metanolin tuotanto [kt]	208,3
Vedyntuotantolaitosten sähkön tarve [GWh]	2 926,0	Vedyntuotantolaitosten sähkön tarve [GWh]	2200,0
Sähkön tarvetta vastaava tuulivoimakapasiteetti [MW]	975	Sähkön tarvetta vastaava tuulivoimakapasiteetti [MW]	733,3
Hukkalämmön määrä [GWh]	877,8	Hukkalämmön määrä [GWh]	660,0

Vedyntuotannossa syntyvän hukkalämmön määrä yllä esitetyn esimerkin mukaisilla arvoilla vastaa metaanin osalta noin 2,09-kertaista ja metanolin osalta noin 1,57-kertaista Kotkan kaukolämpöverkon lämmönkulutusta (420 GWh). Johtopäätöksenä voidaan todeta, että biogeenisen hiilidioksidin saatavuutta on ylenmäärin suhteessa lämmön hyödynnettävyyteen alueen kaukolämpöverkkoihin. Kaukolämpöverkkojen lisäksi hukkalämpöä riittäisi hyödynnettäväksi myös muun teollisuuden lämpöä tarvitsevien prosessien tarpeisiin.

Yhteenveto

Vetyä, Virtaa Kaakkoon – hukkalämmön hyödyntämispotentiaali -hankkeessa on tähän mennessä selvitetty Kymenlaakson ja Etelä-Karjalan maakuntien suurimpien kaukolämpöverkkojen lämmöntarvetta ja luotu mallinnuksia elektrolyysilaitosten hukkalämmön hyödyntämisestä kaukolämpöverkkoihin eri skenaarioin. Tarkastelussa on myös huomioitu maakunnissa syntyvät hiilidioksidipäästöt sekä niiden hyödyntäminen osana vedyn jatkojalostamista synteettisiksi polttoaineiksi. Työ jatkuu tarkempien case-kohdetarkasteluiden ja raportoinnin parissa loppuvuoden 2023.

Xamkin Metsä, ympäristö ja energia -vahvuusalan vuoden 2023 vuosijulkaisussa esitellään ajankohtaisia tutkimus-, kehitys- ja innovaatiohankkeita keskittyen tuoreisiin tuloksiin.

Julkaisuja on kaikilta vahvuusalan eri osaamiskärkien aloilta. Artikkelit kattavat Xamkin kaikkien keskeisten toimintakaupunkien ja maakuntien alueilla tehtävän toiminnan esittelyt biokiertoalouden, energiajärjestelmien, ympäristöturvallisuuden, metsätalouden sekä puumateriaalitutkimuksen ja -teknologioiden aloilla.



**XAMK
KEHITTÄÄ**